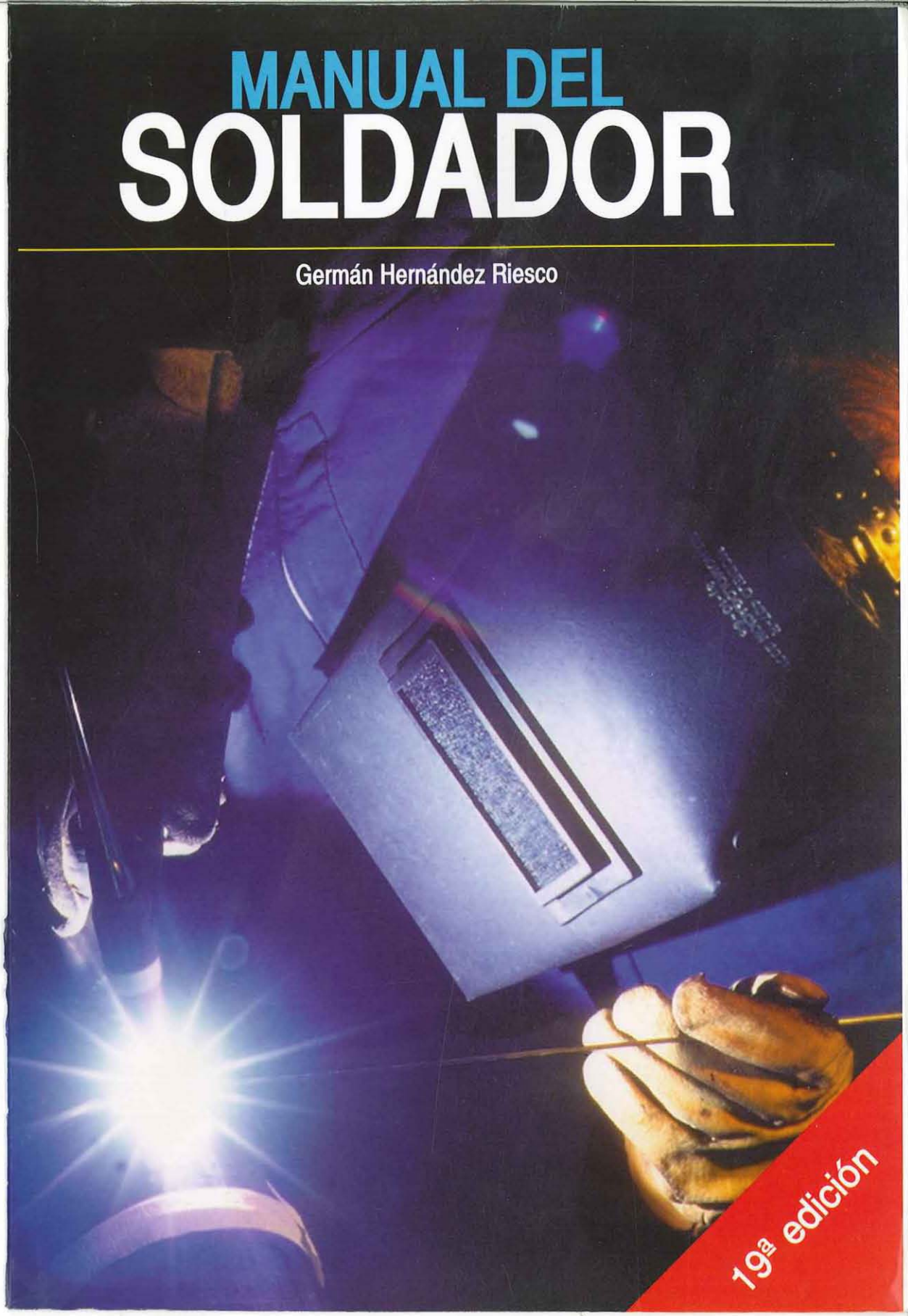
MANUAL DEL SOLDADOR

Germán Hernández Riesco



19ª edición

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....3

Capítulo 1: Introducción a la Tecnología del Soldeo.....5

Capítulo 2: Fundamentos de la Electricidad y del Magnetismo.....13

Capítulo 3: El Arco Eléctrico.....31

Capítulo 4: Fuentes de Energía para el Soldeo por Arco.....47

Capítulo 5: Uniones Soldadas y Técnicas de Soldeo.....67

Capítulo 6: Simbolización de las Soldaduras.....91

Capítulo 7: Seguridad e Higiene.....113

Capítulo 8: Procesos de Corte y Resanado.....141

Capítulo 9: Soldeo Oxigás.....169

Capítulo 10: Soldeo por Arco con Electrodos Revestidos.....191

Capítulo 11: Introducción al Soldeo por Arco Protegido con Gas.....229

Capítulo 12: Soldeo TIG.....243

Capítulo 13: Soldeo MIG/MAG.....289

Capítulo 14: Soldeo con Alambre Tubular.....331

Capítulo 15: Soldeo por Arco Sumergido.....347

Capítulo 16: Soldeo por Resistencia 377

Capítulo 17: Soldeo Fuerte y Blando 387

Capítulo 18: Obtención de los Productos Metálicos 405

Capítulo 19: Ensayos y Propiedades Mecánicas 413

Capítulo 20: Introducción a la Soldabilidad 421

Capítulo 21: Tensiones y Deformaciones Durante el Soldeo 427

Capítulo 22: Aceros al Carbono 441

Capítulo 23: Aceros de Baja Aleación 461

Capítulo 24: Aceros Recubiertos y Plaqueados 473

Capítulo 25: Aceros Inoxidables 481

Capítulo 26: Aluminio y sus Aleaciones 507

Capítulo 27: Níquel y sus Aleaciones 527

Capítulo 28: Cobre y sus Aleaciones 541

Capítulo 29: Titanio y sus Aleaciones 551

Capítulo 30: Imperfecciones de las Uniones Soldadas 563

Capítulo 31: Control de Calidad de las Construcciones Soldadas 581

Capítulo 32: Cualificación de Soldadores 589

Capítulo 33: Sistema Internacional Armonizado para la Enseñanza y Formación en la Tecnología del Soldeo 615

ANEXO A: Símbolos y Siglas 627

ANEXO B: Unidades 633

BIBLIOGRAFÍA 637

PRESENTACIÓN

Cuando iniciamos en CESOL las actividades de formación de Soldadores, nos encontramos con la no existencia de una publicación que recogiese los conocimientos teóricos que dichos profesionales necesitan para la mejor comprensión del trabajo que realizan.

Si tenemos en cuenta:

- La **repercusión directa del trabajo del Soldador en la calidad y productividad** de las fabricaciones soldadas, y
- Que **nadie comete errores a propósito**

es obvio que cuanto mejor esté preparado un Soldador, mayor será la calidad y rentabilidad de su trabajo y, por lo tanto, mayor también será su estabilidad laboral.

Por otro lado, la experiencia adquirida por CESOL en la formación de Soldadores, nos ha demostrado que **al Soldador le gusta conocer el por qué de lo que hace** y, además, lo aprecia.

Todo lo anterior nos ha llevado a la realización de este **MANUAL DEL SOLDADOR,** el cual ha sido redactado con los siguientes objetivos:

- **El que necesita cualquier Soldador** que emplee procesos de soldeo por fusión o de soldeo fuerte o blando.
- **De fácil comprensión**, incidiendo en los conceptos fundamentales esencialmente de forma gráfica.

- **Completo**, en cuanto a los conocimientos que hoy en día se contemplan en Normas y Planes Formativos, especialmente los de la Federación Europea de Soldadura.
- **Una guía** para los Formadores.

El Manual del Soldador está estructurado en los siguientes cinco grandes grupos de conocimientos:

1. Generales de la Tecnología del Soldeo, capítulos 1 a 7.
2. Procesos de corte y de soldeo de mayor aplicación, capítulos 8 a 17.
3. Básicos de los materiales metálicos, capítulos 18 a 21.
4. Específicos de los materiales que más se emplean en las construcciones soldadas, capítulos 22 a 29.
5. Generales sobre calidad y reglamentaciones aplicables a las construcciones soldadas, capítulos 30 a 33.

Se completa con los Anexos A y B, que clarifican las abreviaturas y unidades utilizadas en el texto, y con la bibliografía consultada.

Confiamos que cumpla los objetivos antes expuestos y que sirva para elevar el prestigio de la Sociedad Industrial Española.

Capítulo 1

Introducción a la Tecnología del Soldeo

INDICE

1.1. Presentación histórica....6

1.2. Tecnologías de unión....8

1.3. Clasificación de los procesos de soldeo....10

1.3.1. Procesos de soldeo por fusión....10

1.3.2. Procesos de soldeo en estado sólido....11

1.3.3. Procesos de soldeo fuerte y blando....11

1.1. Presentación Histórica

Aunque los metales han sido utilizados durante miles de años, nadie está seguro de como se obtuvo el primer metal útil. Pudo ser a partir de restos de meteoritos o, más probablemente, al calentar inadvertidamente minerales que contenían cobre, obteniéndose una masa de cobre impuro que fácilmente podía conformarse. Independientemente de su origen, la antigüedad del empleo de los metales ha sido confirmada por los descubrimientos de diferentes piezas de bronce. Hachas, puntas de lanza y ornamentos han sido extraídos de antiguos emplazamientos humanos y los arqueólogos han podido demostrar que fueron fabricados y utilizados durante el período que se conoce como Edad de Bronce.

El empleo que pudieron dar al metal descubierto, estuvo limitado por el hecho de que la tecnología entonces disponible no ofrecía técnicas capaces de producir grandes piezas totalmente de bronce. Esto no fue un gran problema para el caso de hachas o dardos, utensilios a los que pudieron acoplar como mango, por diferentes métodos, un material de buena tenacidad como la madera, pero el problema de conseguir uniones aceptables metal a metal quedó sin resolver. Independientemente del desarrollo de las técnicas de soldeo, la incapacidad de unir pequeñas piezas metálicas entre sí para conseguir otras de mayor tamaño, o más complejas de forma, no fue solucionada definitivamente hasta el siglo pasado. Fue la revolución industrial la que incentivó la introducción a escala comercial de las técnicas de remachado, soldeo fuerte y blando, soldeo por fusión, etc.

El soldeo por llama se desarrolló cuando fueron posibles el abastecimiento a escala industrial de oxígeno, hidrógeno y acetileno a precios accesibles, se inventaron los sopletes adecuados y se desarrollaron las técnicas de almacenamiento de dichos gases. En el año 1916 el soldeo oxiacetilénico era ya un proceso completamente desarrollado capaz de producir soldaduras por fusión de calidad en chapas finas de acero, aluminio y cobre desoxidado, existiendo sólo ligeras diferencias con los procesos utilizados en la actualidad.

El arco eléctrico fue descubierto por Sir Humphrey Davy en 1.801, sin embargo el descubrimiento permaneció durante muchos años como una mera curiosidad científica.

Los primeros electrodos utilizados fueron alambres desnudos de hierro que producían soldaduras débiles y frágiles. El arco, a menudo, sobrecalentaba el metal de aportación y se fragilizaba el cordón de soldadura por reacción con el aire. Para evitar estas dificultades se desarrollaron electrodos ligeramente recubiertos con diferentes materiales orgánicos e inorgánicos, no obstante, éstos estuvieron dirigidos más a establecer y estabilizar el arco que a conseguir la protección y purificación del cordón. No fue hasta 1.912 que Strohmenger patentó en U.S.A. un electrodo

fuertemente recubierto, capaz de producir a escala industrial soldaduras con buenas propiedades mecánicas. Estos primeros electrodos revestidos fueron aceptados lentamente por su elevado coste.

A partir de 1.930 las aplicaciones del soldeo por arco crecieron rápidamente. En este año se construye en Carolina del Sur un barco mercante totalmente soldado, que fue el precursor de los miles de barcos soldados construidos durante la Segunda Guerra Mundial. En la misma época los alemanes construyen los acorazados de bolsillo utilizando el soldeo por arco, tres de los cuales fueron botados entre los años 1.931 y 1.934.

Sobre 1.935 se introduce el empleo de la corriente alterna, que frente a las ventajas que ofrecía presentaba el inconveniente de producir un arco inestable, problema que se solucionó desarrollando revestimientos que se ionizan con mayor facilidad.

En 1.932 se empezó a utilizar como protección un fundente granulado que se depositaba progresivamente por delante del electrodo. El calor del arco fundía y descomponía el fundente produciendo la escoria y atmósfera protectora necesarias.

El empleo del fundente granular y alambre continuo como electrodo, dio lugar en 1.935 al nacimiento del proceso denominado "arco sumergido", cuyas principales aplicaciones fueron en construcción naval y en la fabricación de tubería.

El primer proceso con protección gaseosa empleó un electrodo no consumible de volframio y helio como gas de protección, recibió la denominación de TIG. El proceso todavía se mejoró cuando se introdujo el empleo de la corriente alterna, a la que se superpone una corriente de alta frecuencia y voltaje para mejorar la estabilidad del arco.

El TIG, que resolvió el problema del soldeo de los metales muy reactivos, no se reveló útil a la hora de soldar secciones gruesas o aleaciones altamente conductoras del calor. Para salvar este inconveniente, en 1.948 el electrodo de volframio se sustituyó por un alambre continuo consumible, dando lugar a un nuevo proceso de soldeo por arco que se denominó MIG.

El elevado precio de los gases de protección, argón y helio, hizo que para el soldeo del acero éstos se sustituyeran por una mezcla más económica formada por el gas inerte, oxígeno y anhídrido carbónico, el cual se descompone y reacciona durante el soldeo produciendo arcos más estables y más energéticos. Este nuevo proceso recibió el nombre de MAG y, por su bajo coste, fue rápidamente adoptado en la industria del automóvil y en todas aquéllas en las que las exigencias de calidad no fueran excesivamente críticas.

El soldeo con electrodo revestido no pudo, en principio, ser mecanizado debido a que el electrodo no podía enrollarse en una bobina para ser alimentado continua-

mente, su recubrimiento se agrietaba y desprendía. El problema se resolvió en 1.958 cuando se desarrolló el "alambre tubular". Consiste este alambre/electrodo en una varilla metálica hueca en cuyo núcleo se aloja el fundente, que ofrece la ventaja de ser fácilmente enrollable en una bobina y empleada en equipos con alimentación automática. Este tipo de electrodo es utilizable con y sin gas de protección.

En la actualidad los desarrollos tecnológicos se centran en la aplicación de la microelectrónica y de la informática, para un mejor control del arco y de los parámetros de soldeo. Más que la aparición de nuevos procesos, se está consiguiendo la ampliación del campo de aplicación de los ya existentes a nuevos materiales no metálicos y a aleaciones metálicas hasta ahora difícilmente soldables, sin olvidar la mecanización, automatización, robotización y control de los procesos mediante ensayos no destructivos y registro de los parámetros en tiempo real.

1.2. Tecnologías de Unión

El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material.

Se denominará metal base al material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo o corte y metal de aportación al material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo (ver figuras 10.1 y 12.1).

La distinción entre los términos **soldeo** y **soldadura** es la siguiente: **"soldeo"** se aplica a la serie de acciones conducentes a obtener uniones soldadas o **"soldaduras"**, dicho de otra forma: se hablará de **"soldadura"** cuando nos refiramos a la unión obtenida como resultado de diferentes acciones de **"soldeo"**, tales como procesos de soldeo, parámetros de soldeo, secuencias de soldeo, equipos de soldeo, etc.

Una soldadura puede ser homogénea o heterogénea. Como ejemplo de soldadura homogénea se puede citar la obtenida al realizar el soldeo de dos piezas de acero de composición similar sin utilizar metal de aporte, o utilizando un metal de aporte de la misma naturaleza que la de las piezas a unir. Como ejemplo de soldadura heterogénea, se puede citar la obtenida al realizar el soldeo de dos piezas de fundición utilizando como metal de aporte una aleación de níquel, o bien realizar el soldeo entre dos piezas de distinto material utilizando como aporte otro material diferente.

También podemos ver en la figura 1.1 que la unión por soldeo es la única que permite conseguir la continuidad en un mismo plano, facilitándose la transmisión de tensiones entre las piezas unidas. Como contrapartida, la unión soldada es más rígida que la atornillada y que la remachada.

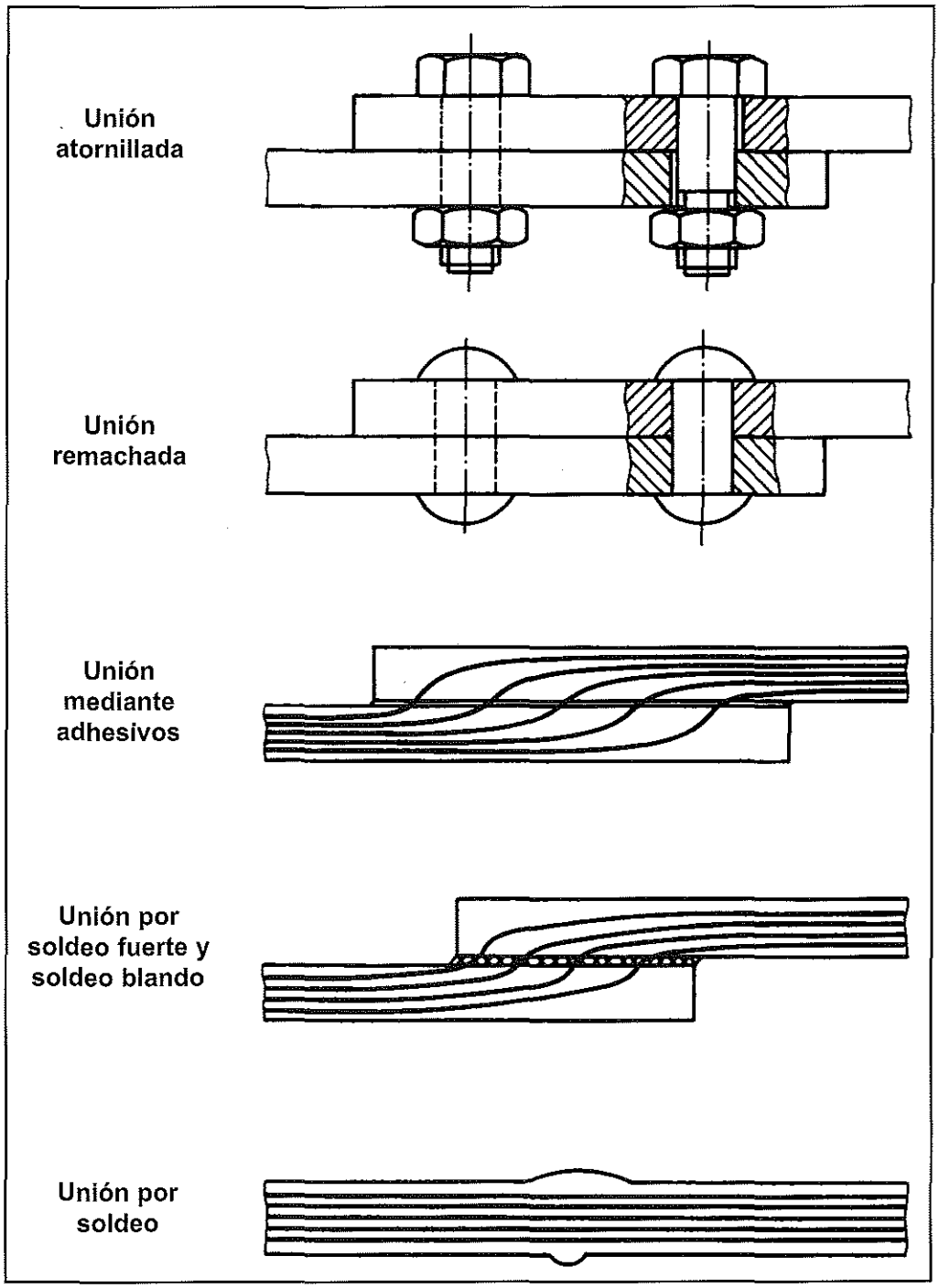


FIGURA 1.1: DIFERENTES TIPOS DE UNIONES

1.3. Clasificación de los Procesos de Soldeo

En la figura 1.2 se presenta de forma esquemática, de acuerdo con la AWS, los diferentes métodos de unión de materiales, diferenciando los de soldeo en tres grandes grupos:

- Soldeo por fusión.
- Soldeo en estado sólido.
- Soldeo fuerte y blando.

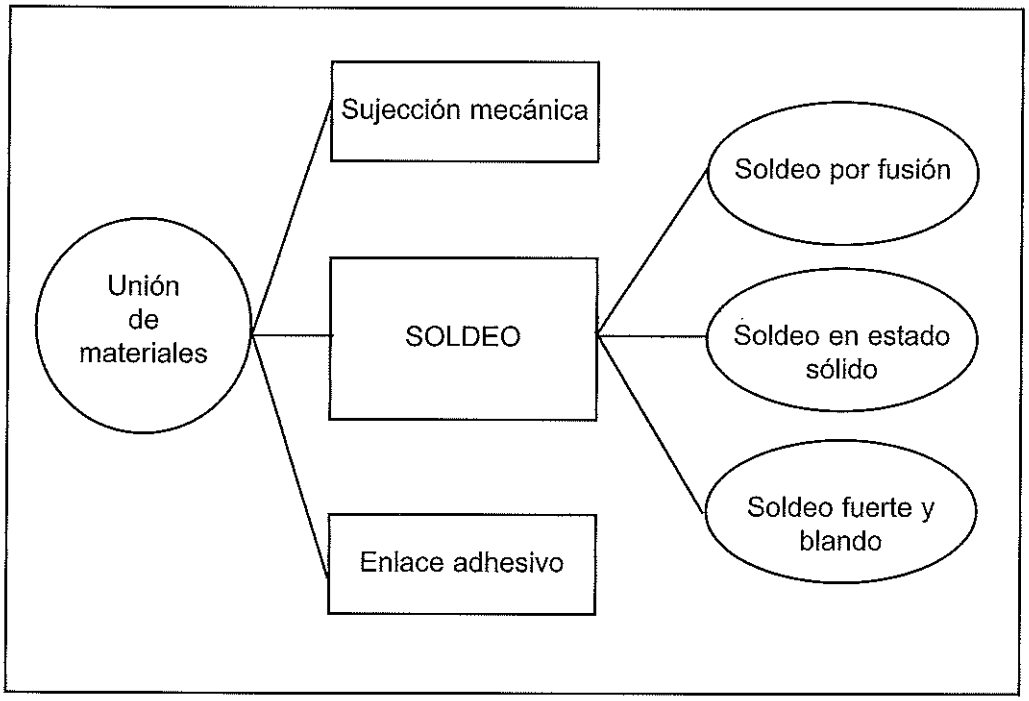


FIGURA 1.2: ESQUEMA DE LOS MÉTODOS DE UNIÓN DE MATERIALES

1.3.1. Procesos de soldeo por fusión

Son aquéllos en los que **siempre** se produce la fusión del metal base y la del de aportación cuando éste se emplea. Es decir, **siempre existe una fase líquida** formada sólo por metal base, o por metal base y de aportación.

Los más utilizados se describen en los capítulos 9 a 16 de este libro.

1.3.2. Procesos de soldeo en estado sólido

Son aquéllos en los que **nunca** se produce la fusión del metal base, ni la del de aportación cuando éste se emplea. Es decir, **nunca existe una fase líquida.**

1.3.3. Procesos de soldeo fuerte y blando

Son aquéllos en los que siempre se produce la fusión del metal de aportación, pero no la del metal base. Es decir, **siempre existe una fase líquida formada sólo por metal de aportación.**

La diferencia entre soldeo fuerte y soldeo blando reside en que en el soldeo fuerte el metal de aportación funde por encima de 450°C, mientras que en el soldeo blando el material de aportación funde a 450°C o a temperaturas inferiores. Ver capítulo 17 de este libro.

Capítulo 2

Fundamentos de la Electricidad y del Magnetismo

INDICE

2.1. Introducción 14

2.2. Naturaleza de la electricidad 14

2.3. Corriente eléctrica 15

2.4. Tensión, intensidad y resistencia 16

2.5. Conductividad eléctrica. Materiales conductores y aislantes 18

2.6. Ley de Ohm 19

2.7. Corriente continua y corriente alterna 21

2.7.1. Corriente continua 21

2.7.2. Corriente alterna 21

2.8. Energía y potencia eléctrica 24

2.9. Efectos de la corriente eléctrica 25

2.10. Efecto calorífico de la corriente eléctrica. Efecto Joule 26

2.11. Magnetismo 27

2.1. Introducción

La electricidad es una de las fuentes de energía más utilizada en la tecnología del soldeo.

En el soldeo por fusión se emplea fundamentalmente para producir el arco eléctrico y para generar, por efecto Joule, el calor necesario en los procesos de soldeo por resistencia.

El empleo de la electricidad es también muy diverso en los procesos de soldeo en estado sólido y en los de soldeo fuerte y blando.

Lo anterior justifica que se traten, desde el principio, los fundamentos de este fenómeno así como sus consecuencias.

2.2. Naturaleza de la Electricidad

Todos los cuerpos están formados por elementos químicos o sustancias elementales, y cada uno de ellos está constituido por partículas elementales o átomos.

Cada átomo tiene un núcleo central y alrededor de él giran a gran velocidad unas partículas (**electrones**) cargadas negativamente, ver figura 2.1. Dentro del núcleo hay un número igual de partículas positivas (**protones**) que anulan a las negativas de los electrones, compensándose el número de cargas positivas del núcleo con el número de cargas negativas que giran a su alrededor, resultando un átomo neutro. También se encuentran en el núcleo unas partículas sin carga eléctrica denominadas neutrones.

Los electrones giran en órbitas distintas alrededor del núcleo.

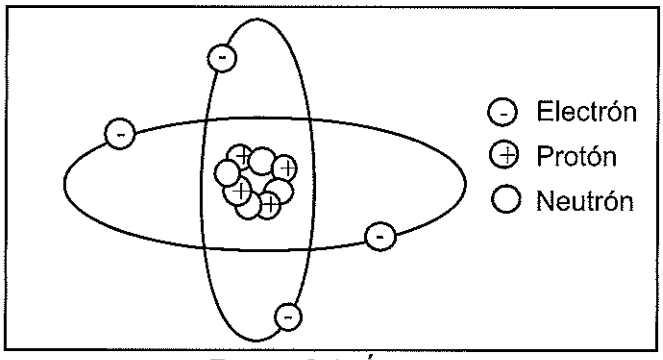


FIGURA 2.1: ÁTOMO

Como hemos indicado, la materia en estado normal posee el mismo número de protones que de electrones, por lo que es eléctricamente neutra. Ahora bien, los átomos pueden ceder o ganar electrones, quedándose **cargados positiva** o **negativamente.**

Un cuerpo estará **cargado positivamente** si pierde un determinado número de electrones.

Un cuerpo quedará **cargado negativamente** si gana un determinado número de electrones.

2.3. Corriente Eléctrica

En algunas sustancias, especialmente los metales y bajo ciertas condiciones, los electrones son **libres** de moverse de un átomo a otro originando un flujo de electrones a través del material. Este flujo de electrones se conoce como **corriente eléctrica** y se representa en la figura 2.2.

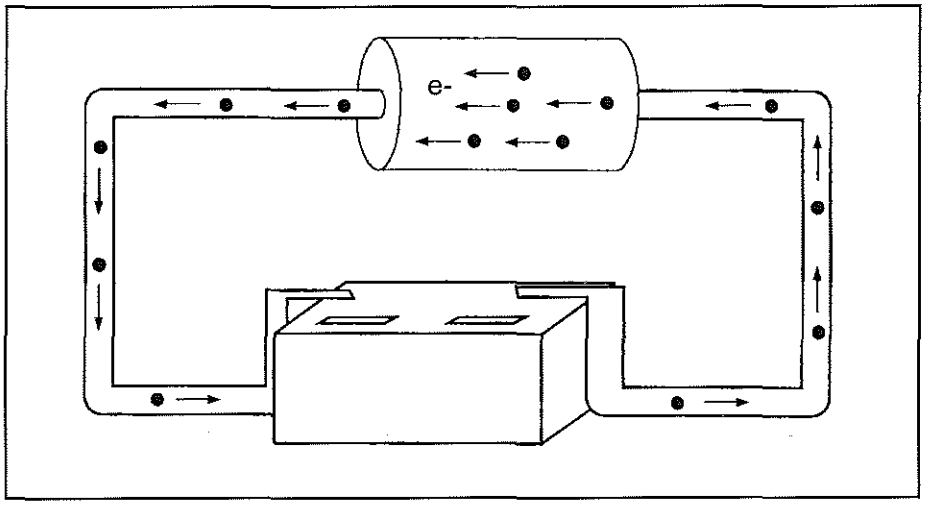


FIGURA 2.2: CORRIENTE ELÉCTRICA COMO FLUJO DE ELECTRONES (e^-)

Los materiales que permiten el flujo de electrones se denominan **conductores.** Por ejemplo los metales, disoluciones de ácidos y sales o el carbón.

Los materiales que por su estructura no permiten fluir a los electrones se denominan **aislantes.** Ejemplos de éstos son: gases, madera, papel, algodón, goma, plástico y materiales cerámicos.

2.4. Tensión, Intensidad y Resistencia

Para entender mejor las nociones de corriente eléctrica hemos plasmado en la figura 2.3 un símil hidráulico clásico que la explica.

Con la ayuda de la bomba en el circuito 1, figura 2.3 (a), hacemos circular un caudal de agua por el serpentín. De igual manera, con ayuda del generador (o cualquier otra fuente de corriente) en el circuito 2, figura 2.3 (b), hacemos circular por un receptor una cantidad determinada de electrones.

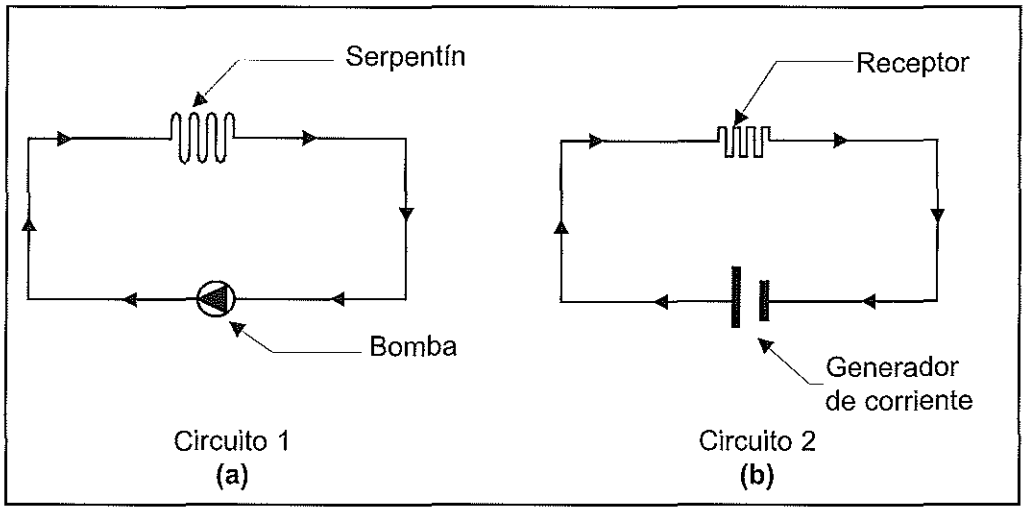


FIGURA 2.3: (A) SÍMIL HIDRÁULICO DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO. (B) CIRCUITO ELÉCTRICO

Intensidad de corriente

De la misma manera que el caudal que pasa por el serpentín es la cantidad de agua, medida en litros (l), que pasa por el serpentín en la unidad de tiempo (por ejemplo el segundo) y se mide en litros por segundo (l/s); la intensidad de corriente es la cantidad de electrones que atraviesan una sección del conductor por unidad de tiempo.

La intensidad de corriente se representa normalmente por la letra I.

La unidad de la corriente, o de la intensidad de corriente, en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) es el **amperio**, cuyo símbolo abreviado es **A**.

Igual que el agua en un circuito hidráulico circula por las tuberías, el movimiento de las cargas está restringido dentro de los límites del conductor. Los electrones se mueven únicamente dentro del material conductor.

Tensión eléctrica o diferencia de potencial

Para obtener una circulación de agua por el serpentín, es preciso que en el circuito 1 de la figura 2.3 (a) exista, entre la entrada y la salida del mismo, una diferencia de presión que la crea la bomba. En el circuito 2 de la figura 2.3 (b), para que los electrones circulen se necesita una **diferencia de potencial o tensión eléctrica** que la crea el generador.

La función de cualquier generador es, por lo tanto, crear una diferencia de potencial para que se establezca el flujo de electrones.

La diferencia de potencial, o tensión eléctrica, se representa normalmente por la letra U ó V.

Por tanto, **V** es la **diferencia de potencial** entre dos puntos considerados, siendo incorrecto hablar de potencial en un punto sin hacer referencia a otro.

Es frecuente considerar el potencial de varios puntos todos con **referencia** a un lugar determinado, al que se suele asignar el **potencial cero**, conociéndose con el nombre de **tierra**.

Con este convenio, ya puede hablarse de **potencial de un punto**, por cuanto se sobreentiende cuál es el punto de referencia (la tierra de potencial cero).

La unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional es el **voltio**, cuyo símbolo es V.

Resistencia

Las tuberías del circuito 1, figura 2.3 (a), ofrecen **resistencia** a la circulación del agua debido al rozamiento de ésta con las paredes de la tubería. Esta resistencia es tanto mayor cuando:

- Mayor es su longitud.
- Menor es su diámetro.
- Más rugosas son sus paredes interiores.

Así los conductores del circuito 2, figura 2.3 (b), ofrecen una resistencia al paso de los electrones, tanto mayor cuanto:

- Más largo sea el conductor.
- Más pequeño sea su diámetro.
- La naturaleza del material constituyente del conductor se preste menos al movimiento de los electrones.

La **resistencia eléctrica** se representa normalmente por la letra **R** y se mide en **ohmios**, cuyo símbolo abreviado es Ω.

En la tabla 2.1 se resumen las magnitudes eléctricas antes descritas, así como sus unidades y abreviaturas normalmente utilizadas.

Magnitud eléctrica	Abreviatura	Unidad
Tensión eléctrica o diferencia de potencial	V; U	Voltio (V)
Intensidad	I	Amperio (A)
Resistencia	R	Ohmio (Ω)

TABLA 2.1: MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y SUS UNIDADES

2.5. Conductividad Eléctrica. Materiales Conductores y Aislantes

La resistencia de un conductor depende de las características particulares de éste: longitud, sección y naturaleza del material.

Como ya se ha indicado, se observa que:

- Al aumentar la longitud del conductor, la resistencia aumenta.
- Al disminuir el diámetro del conductor, y por tanto su sección, la resistencia aumenta.
- Al cambiar un conductor por otro de la misma sección y longitud, pero de diferente material, la resistencia varía, ya que ésta depende del tipo de material del conductor.

Existen materiales que conducen mejor la electricidad que otros, es decir tienen mayor conductividad eléctrica. La conductividad es una característica de cada tipo de material.

Un buen **conductor** es un material que no ofrece resistencia al paso de los electrones. Su conductividad es alta. Los metales son, generalmente, buenos conductores de la electricidad. Los mejores son la plata, el cobre y el aluminio. También son conductores el grafito y las disoluciones acuosas de ácidos, bases y sales.

Los **aislantes** son sustancias que prácticamente no conducen la corriente eléctrica, utilizándose para cortar o aislar el paso de la corriente. Son aislantes los gases en condiciones normales (sólo si se ionizan son conductores), el papel, el asfalto,

el vidrio, casi todos los plásticos (pvc, polietileno, etc) , casi todas las cerámicas, la lana y la goma.

2.6. Ley de Ohm

Al conectar dos depósitos situados a distinto nivel y comunicados entre sí, ver figura 2.4, se establece una corriente de agua. La corriente cesa en el momento en que el desnivel desparece y es mayor cuanto mayor sea este desnivel.

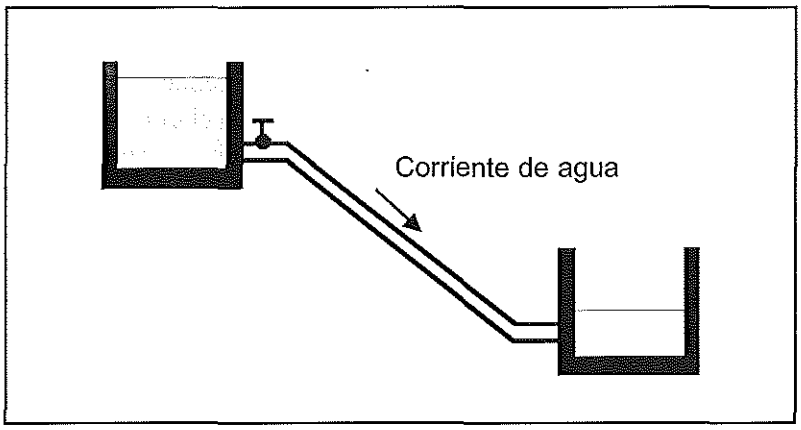


FIGURA 2.4: ESTABLECIMIENTO DE UNA CORRIENTE DE AGUA AL CONECTAR DOS DEPÓSITOS A DIFERENTE ALTURA

De la misma manera, al establecer una diferencia de potencial mediante un generador, por ejemplo una pila, se establece una corriente de electrones. La intensidad de la corriente será mayor cuanto mayor sea la diferencia de potencial que se ha establecido, por tanto existe una relación entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial.

Sin embargo, de la misma forma que en el circuito hidráulico hay que tener en cuenta la sección de la tubería y sus características (existencia de residuos, material, etc.) para conocer exactamente el caudal; en un circuito eléctrico para conocer la intensidad de corriente será necesario saber la sección del conductor, su longitud y la conductividad de material; es decir: la resistencia del conductor. Se ve, pues, que existe una relación entre la intensidad de corriente, la diferencia de potencial y la resistencia del conductor. Esta relación se conoce como "Ley de Ohm" y se enuncia así:

La diferencia de potencial entre los extremos de un conductor eléctrico es directamente proporcional a la intensidad que circula por él, siendo la constante de proporcionalidad la resistencia del propio conductor.

$$\boxed{V = R \cdot I}$$

V = Diferencia de potencial, medida en voltios (V)
I = Intensidad de corriente, medida en amperios (A)
R = Resistencia del conductor, medida en ohmios (Ω)

Para explicar la proporcionalidad entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial se puede realizar la siguiente experiencia, conectar una pila con una bombilla e intercalar un amperímetro. Una vez montado el circuito se va cambiando la pila para obtener distintas diferencias de potencial y, por tanto, diferentes intensidades de corriente. Cada vez que conectamos el circuito se anotará el valor de la intensidad de corriente obtenida y la tensión de la pila. La resistencia se determina por el cociente entre la diferencia de potencial y la intensidad, obteniéndose una tabla como la 2.2.

Diferencia de potencial (V)	Intensidad (I)	Resistencia $\left[\frac{V}{I}\right]$
10 V	5 A	2 Ω
8 V	4 A	2 Ω
6 V	3 A	2 Ω
2 V	1 A	2 Ω

TABLA 2.2: RELACIÓN ENTRE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL Y LA INTENSIDAD

Como se puede ver el cociente V/I, es decir la resistencia, **permanece constante**, siempre y cuando no cambiemos ni la bombilla ni el conductor del circuito.

En la tabla 2.2 también se observa que con una pila de 10 V la intensidad es de 5 A. Si se disminuye la tensión de la pila, por ejemplo a 8 V, la intensidad también disminuye y lo hace de forma proporcional, siendo en este caso de 4 A. Es decir, la diferencia de potencial y la intensidad varían en el mismo sentido y proporcionalmente una a otra. La proporcionalidad con que varían viene determinada por la resistencia del conductor.

2.7. Corriente Continua y Corriente Alterna

Si el sentido y valor de la intensidad de corriente permanecen constantes a lo largo del tiempo, la corriente se denominará **continua**, ver figura 2.5.

Si el sentido de la intensidad varía periódicamente, es decir, cambia de signo de unos instantes a otros, la corriente se denominará **alterna**.

2.7.1. Corriente continua

Corriente continua: Se representa gráficamente por ___ y abreviadamente por c.c. ó d.c.

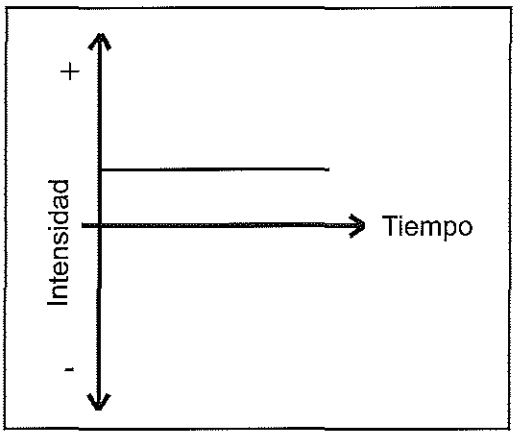


FIGURA 2.5: CORRIENTE CONTINUA

Características de la corriente continua:

- Se produce en las pilas y en las dinamos.
- Las máquinas de soldeo que suministran este tipo de corriente son los rectificadores y los grupos motor-dinamo (convertidores o generadores).
- La corriente circula en un sentido determinado de forma constante. Hay un terminal positivo y un terminal negativo.

2.7.2. Corriente alterna

Las tensiones e intensidades de las corrientes que circulan por la mayoría de los circuitos prácticos **no** son **estacionarias** sino que **varían** con el tiempo.

La más sencilla de las corrientes variables con el tiempo, cambia periódicamente su sentido y recibe el nombre de corriente alterna, representándose abreviadamente por c.a. ó a.c. y gráficamente por ~ .

La **forma de onda** de la corriente alterna más sencilla es la sinusoidal de tensión o de intensidad, la cual varía sinusoidalmente con el tiempo, ver figuras 2.6 y 2.7.

A una onda completa se le da el nombre de **ciclo** y el intervalo de tiempo que se invierte en un ciclo recibe el nombre de **período** (T). El número de ciclos por segundo es la **frecuencia** (f), siendo por tanto f = 1 / T. La frecuencia se mide en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo. La **amplitud** es el máximo valor de la onda.

En la figura 2.6 se representa una onda sinusoidal de tensión. Se podría construir una similar con la intensidad en lugar de con la tensión, ver figura 2.7. La corriente suministrada por las compañías eléctricas es alterna. En Europa se suministra a 50 Hz y en Estados Unidos a 60 Hz.

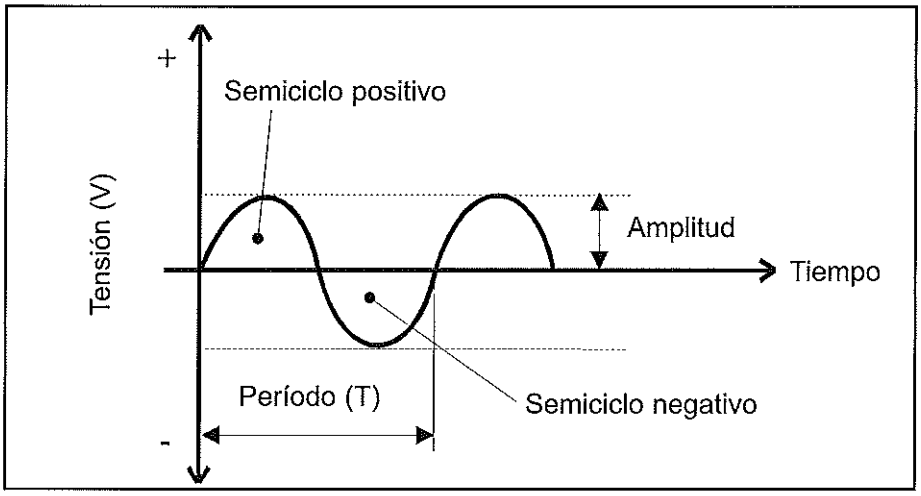


FIGURA 2.6: CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

La corriente alterna que normalmente se emplea es **trifásica**, esto quiere decir que está integrada por tres corrientes alternas monofásicas, ver figura 2.8. Para el transporte de las tres corrientes monofásicas por las compañías eléctricas hasta un receptor, se precisarían en teoría seis conductores, es decir 2 por cada corriente monofásica. Sin embargo, en la práctica se unen en un sólo conductor el retorno de las tres fases, con lo que se precisan sólo cuatro conductores, el cable de retorno se denomina **neutro**.

Cuando se suministra la corriente a 380 V y se realiza una conexión entre una fase y el neutro, se obtiene una tensión de 220 V.

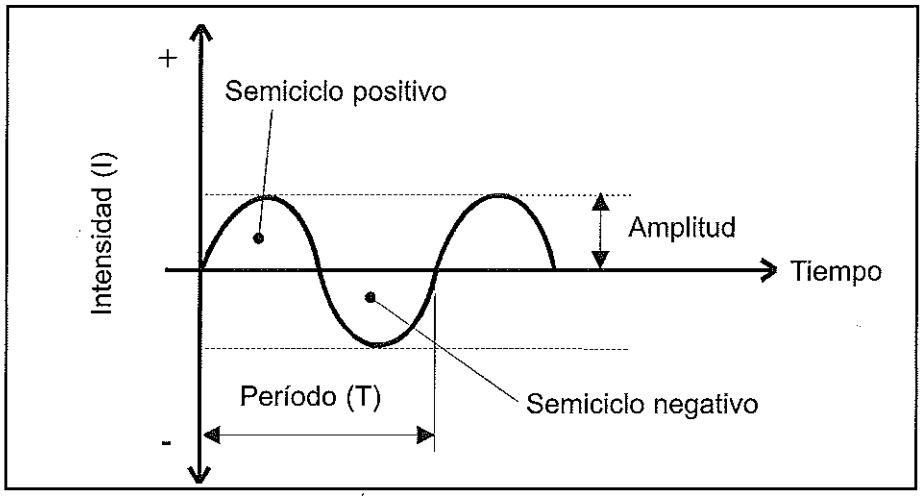


FIGURA 2.7: CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

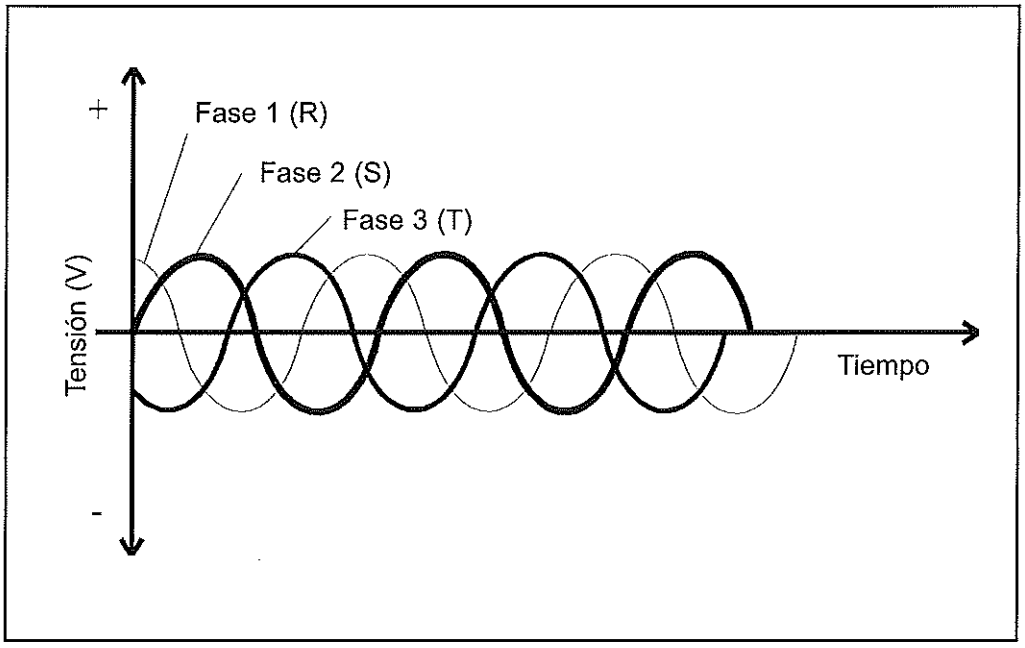


FIGURA 2.8: CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

Características de la corriente alterna:

- Es la forma en que nos suministra la energía las compañías eléctricas. La corriente eléctrica industrial se suministra a 380 V ó a 440 V trifásica, o a 220 V monofásica.

- Se produce en los alternadores.
- Los equipos de soldeo que suministran corriente alterna son los transformadores.
- No tiene sentido hablar de polaridad (está cambinando continuamente).

2.8. Energía y Potencia Eléctrica

La electricidad, una forma de energía

La electricidad es una forma más de energía que se obtiene por transformación de otras energías como la química, la mecánica, etc.

Por ejemplo, la energía eléctrica que suministra una pila voltaica se obtiene por transformación de la energía química de las reacciones que tienen lugar en el interior de la pila cuando ésta funciona. De igual modo, la energía eléctrica que suministra una central hidroeléctrica, proviene de la energía potencial (mecánica) del agua almacenada en una presa.

A su vez, la energía eléctrica se puede transformar en otros muchos tipos de energía: calorífica, luminosa, mecánica, química, etc.

Energía eléctrica

La energía es la capacidad de los cuerpos para producir trabajo. La energía eléctrica es una de las formas de energía más utilizadas y encuentra numerosas aplicaciones para el alumbrado, calefacción, máquinas eléctricas, aparatos electrodomésticos, etc.

La energía eléctrica es el trabajo realizado por los electrones al desplazarse a lo largo de un conductor, debido a la diferencia de potencial entre sus extremos.

La unidad de energía en el Sistema Internacional es el **Julio** y se representa con la letra J.

Potencia de una corriente eléctrica

La energía eléctrica que aporta un generador es función del tiempo durante el cual el circuito está conectado. A veces, resulta conveniente hablar de energía que aporta el generador por unidad de tiempo, para lo que se introduce el concepto de **potencia eléctrica**.

La potencia es el trabajo realizado por unidad de tiempo.

En los aparatos eléctricos se obtiene multiplicando la tensión en Voltios (V), por la intensidad de corriente en Amperios (A), y se expresa en Watios (W).

$$P = V \cdot I$$

P = Potencia eléctrica, medida en watios (W).
V = Diferencia de potencial, medida en voltios (V).
I = Intensidad de corriente, medida en amperios (A).

Por ejemplo, un arco eléctrico por el que circula una corriente de 75 Amperios bajo una tensión de 25 Voltios tiene una potencia de 1875 W (1,875 KW)

$$P = 75A \times 25V = 1875W$$

2.9. Efectos de la Corriente Eléctrica

La experiencia que se muestra en la figura 2.9 puede poner de manifiesto los efectos que produce la corriente eléctrica.

En dicha figura se ha representado un circuito con una resistencia eléctrica, un interruptor, un generador y existe una aguja imantada (una brújula) cerca del circuito eléctrico.

Si cerramos el circuito con el interruptor se pueden observar los siguientes fenómenos:

1. El hilo que forma la resistencia desprende calor, poniéndose al rojo (EFECTO TÉRMICO).
2. La aguja imantada gira poniéndose perpendicular al conductor (EFECTO MAGNÉTICO).

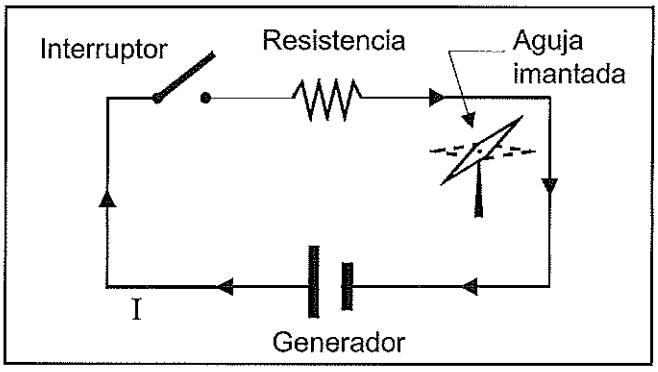


FIGURA 2.9: EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

2.10. Efecto Calorífico de la Corriente Eléctrica. Efecto Joule

Todo conductor recorrido por una corriente eléctrica se calienta. Es el llamado **efecto Joule**.

Se aprovecha de muy diversas maneras, desde las lámparas y los fusibles hasta los sistemas de calefacción siendo, además, el fundamento del soldeo por resistencia.

Por lo anterior, hay que tener en cuenta el calentamiento de los conductores a la hora de elegir los cables (su sección y longitud) de los aparatos eléctricos para no someterlos a un sobrecalentamiento.

El calentamiento de un conductor por efecto Joule depende de la intensidad de corriente que circula por el conductor, del tiempo durante el cual circula la corriente y de la resistencia del conductor, de forma que el calor aumenta cuando aumenta cualquiera de los factores antes indicados: intensidad, resistencia y tiempo.

Si introducimos en una baño una resistencia susceptible de variar por medio de un reostato (resistencia variable) , ver figura 2.10, podemos constatar los siguientes resultados:

1. Que si durante un minuto la temperatura del baño sube 1°C, durante dos minutos sube 2°C, durante tres minutos 3°C, etc.
2. Que si duplicamos la resistencia inmersa, para un mismo tiempo duplicamos la temperatura, y la triplicamos si triplicamos la resistencia.
3. Si podemos, para una misma resistencia inmersa, variar la intensidad que circula por ella a través del reostato, comprobamos lo siguiente: Al duplicar la intensidad (2I), la temperatura aumenta cuatro veces en el mismo tiempo ($4 = 2^2$); si triplicamos la intensidad (3I), la temperatura aumenta nueve veces más ($9 = 3^2$).

Esto significa:

1. Que el calor desprendido es proporcional al tiempo.
2. Que el calor desprendido es proporcional a la resistencia.
3. Que el calor desprendido es proporcinal al cuadrado de la intensidad que circula por la resistencia.

De ahí la Ley de Joule, que se expresa como $\boxed{Q = R \times I^2 \times t}$, que representa el calor desprendido por una resistencia eléctrica, en donde:

Q = Energía en forma de calor y se expresa en julios (J)

R = Resistencia, en ohmios (Ω)

I = Intensidad, en amperios (A)

t = Tiempo, en segundos (s)

o bien $\boxed{Q = 0{,}239 \times 10^{-3} \times R \times I^2 \times t}$, en donde ahora Q se expresa en Kilocalorías.

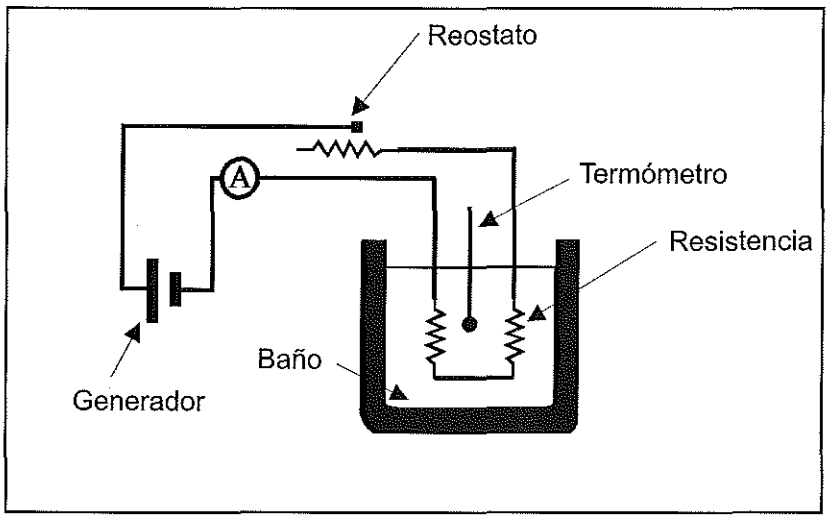


FIGURA 2.10: APLICACIÓN DEL EFECTO JOULE

2.11. Magnetismo

El magnetismo es el fenómeno que acompaña a los imanes.

El imán es una sustancia o cuerpo que tiene la propiedad de atraer al hierro.

La magnetita es el imán natural más conocido.

La alteración del espacio alrededor de un imán, es decir la formación de un campo magnético, se pone de manifiesto colocando un imán debajo de una hoja de papel con limaduras de hierro. Las limaduras de hierro se organizan según ciertas direcciones, ver figura 2.11. Estas direcciones se conocen como líneas de fuerza y van de un extremo (polo Norte) a otro (polo Sur) por fuera y al revés por el interior del imán.

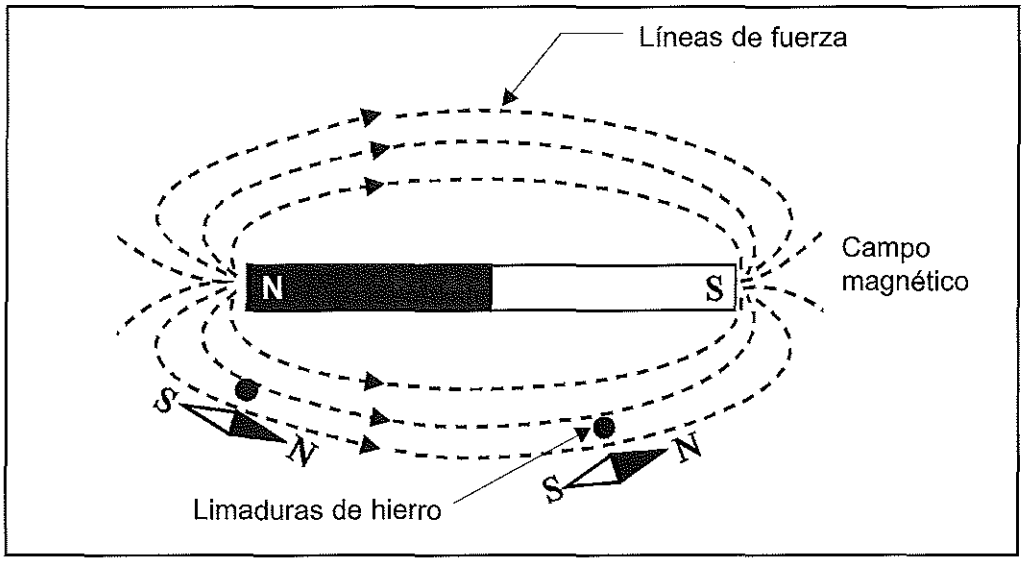


FIGURA 2.11: IMANES Y MAGNETISMO

El número de líneas de fuerza que atraviesan la unidad de superficie perpendicular a ellas se denomina **flujo magnético** y nos da una idea de lo fuerte que es un campo magnético.

Sólo unos pocos materiales son fuertemente atraídos por los campos magnéticos, conociéndose con el nombre de **ferromagnéticos**. Entre los ferromagnéticos se encuentran el hierro, el níquel, cobalto y la mayoría de sus aleaciones.

Producción de campos magnéticos

Además de producirse campos magnéticos mediante un imán, los campos magnéticos se producen cuando una **corriente eléctrica** pasa a través de cualquier material conductor de la electricidad. Las líneas de fuerza del campo magnético, originado por este sistema, forman siempre ángulos de 90° con las líneas de flujo de la corriente eléctrica que las originaron.

Si una corriente eléctrica circula por un conductor lineal, se crea, alrededor del conductor, un campo magnético cuyas líneas de fuerza son circulares y situadas en planos perpendiculares al conductor. Ver figura 2.12.

Para determinar el sentido de las líneas de fuerza del campo magnético creado por un conductor lineal, se suele utilizar la regla de la mano derecha, que dice: cogiendo el conductor por la mano derecha, dirigido el pulgar en el sentido de la corriente, el resto de los dedos nos marcan el sentido de las líneas de fuerza del campo magnético. Ver figura 2.13.

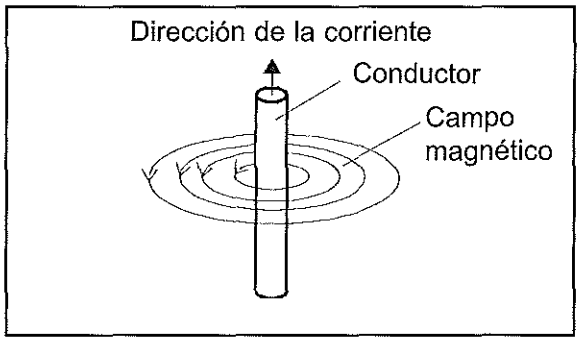


FIGURA 2.12: CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CORRIENTE QUE CIRCULA POR UN CONDUCTOR

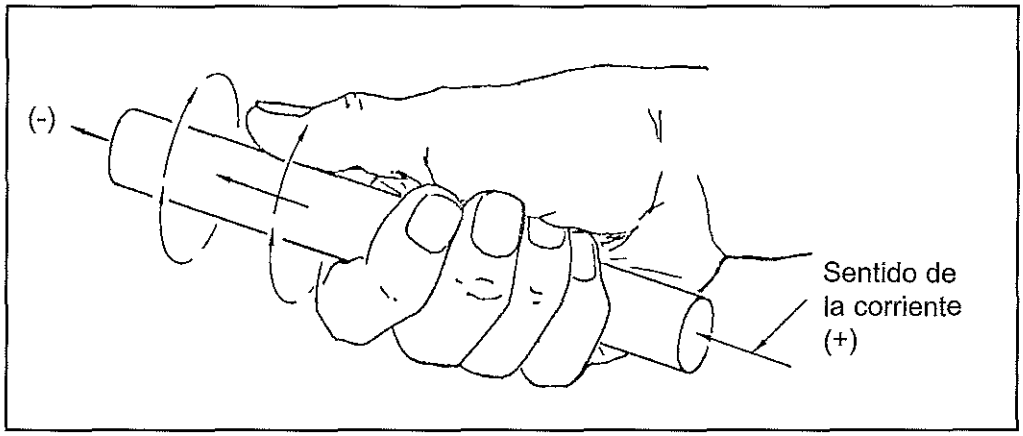


FIGURA 2.13: SENTIDO DE LAS LÍNEAS DE FUERZA. REGLA DE LA MANO DERECHA

Si enrollamos un alambre conductor formando una bobina, las líneas de fuerza que se forman alrededor de cada una de las espiras al circular la corriente eléctrica por el conductor, se combinan entre sí y dan lugar a un campo resultante cuyas líneas de fuerza van según la dirección longitudinal del eje de la bobina, ver figura 2.14.

Fenómeno de inducción

Hemos visto que el paso de una corriente eléctrica por un conductor crea un campo magnético.

Parece lógico pensar que los campos magnéticos producirán una corriente eléctrica; y por supuesto es cierto. A estas corrientes se las denomina **corrientes inducidas** y a los fenómenos que las crean fenómenos de **inducción electromagnética**.

Se puede decir que cualquier campo magnético fluctuante, que es aquél que sus líneas de fuerza cambian periódicamente de sentido, crea, o induce, una corriente eléctrica.

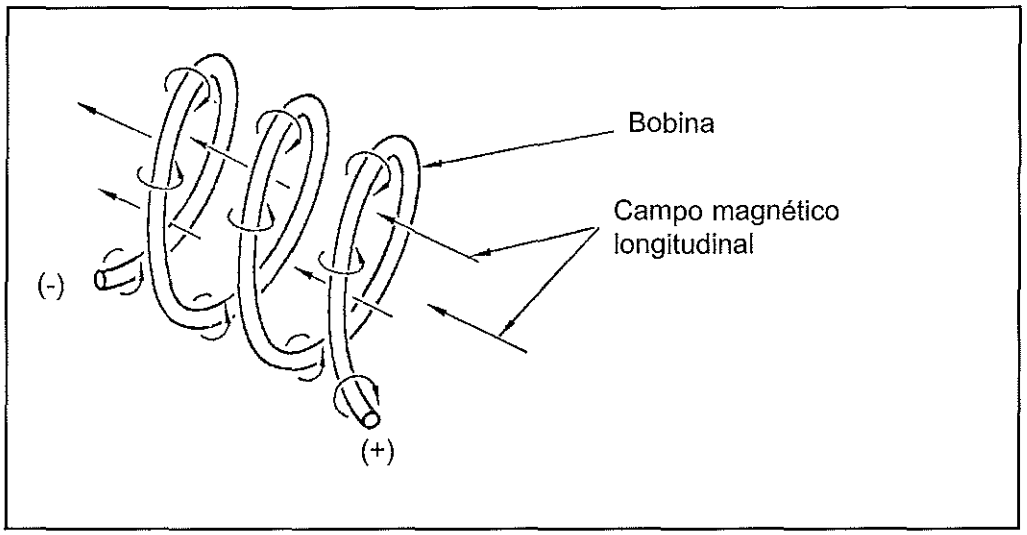


FIGURA 2.14: PRODUCCIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO LONGITUDINAL

Capítulo 3

El Arco Eléctrico

INDICE

3.1. Definición del arco eléctrico 32

3.2. Formación del medio conductor: la columna de plasma 32

3.3. Zonas características del arco de soldeo 34

3.4. Influencia del tipo de corriente. Polaridad 35

3.4.1. Diferentes nombres de los dos tipos de polaridad 36

3.4.2. Efectos de la polaridad 37

3.4.3. Efectos de la corriente alterna 39

3.5. Soplo magnético 40

3.6. Característica del arco 44

3.1. Definición del Arco Eléctrico

El arco eléctrico es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco, por otra parte, es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo por dos razones fundamentales:

Proporciona altas intensidades de calor.

Es fácilmente controlable a través de medios eléctricos.

Para producir el arco necesitamos dos conductores, a los que llamaremos **electrodos**, y un gas conductor al que denominaremos **plasma**.

3.2. Formación del Medio Conductor: La Columna de Plasma

Como ya hemos dicho anteriormente, el arco eléctrico consiste en una descarga de corriente relativamente alta sostenida a través de una columna gaseosa. Ahora bien, los gases, en condiciones normales, son prácticamente aislantes, por lo que para conseguir el arco es necesario que el gas se haga conductor.

Para ello, hay que conseguir la separación de sus átomos en iones y electrones; este proceso se denomina **ionización**. La ionización se consigue por el choque de los electrones que salen de uno de los electrodos con el gas. Un gas ionizado o parcialmente ionizado se denomina plasma. (Ver figura 3.1).

En la figura 3.1(A) se puede observar los átomos de un gas, como se explicó (capítulo 2, apartado 2.2) cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, sin embargo a una temperatura elevada se puede conseguir que el gas se ionice, es decir que todos o alguno de los electrones de cada átomo se separe dejando un ión positivo. El plasma de la figura 3.1(B) está formado por un átomo (a) que no está en absoluto ionizado, es decir, que no tiene ningún electrón separado de su núcleo; átomos parcialmente ionizados en los que uno de los electrones (c) se ha separado del núcleo y han dejado un ión positivo (b) (tiene más protones que electrones) y otro átomo totalmente ionizado ya que los dos electrones (c) se han separado del núcleo (d).

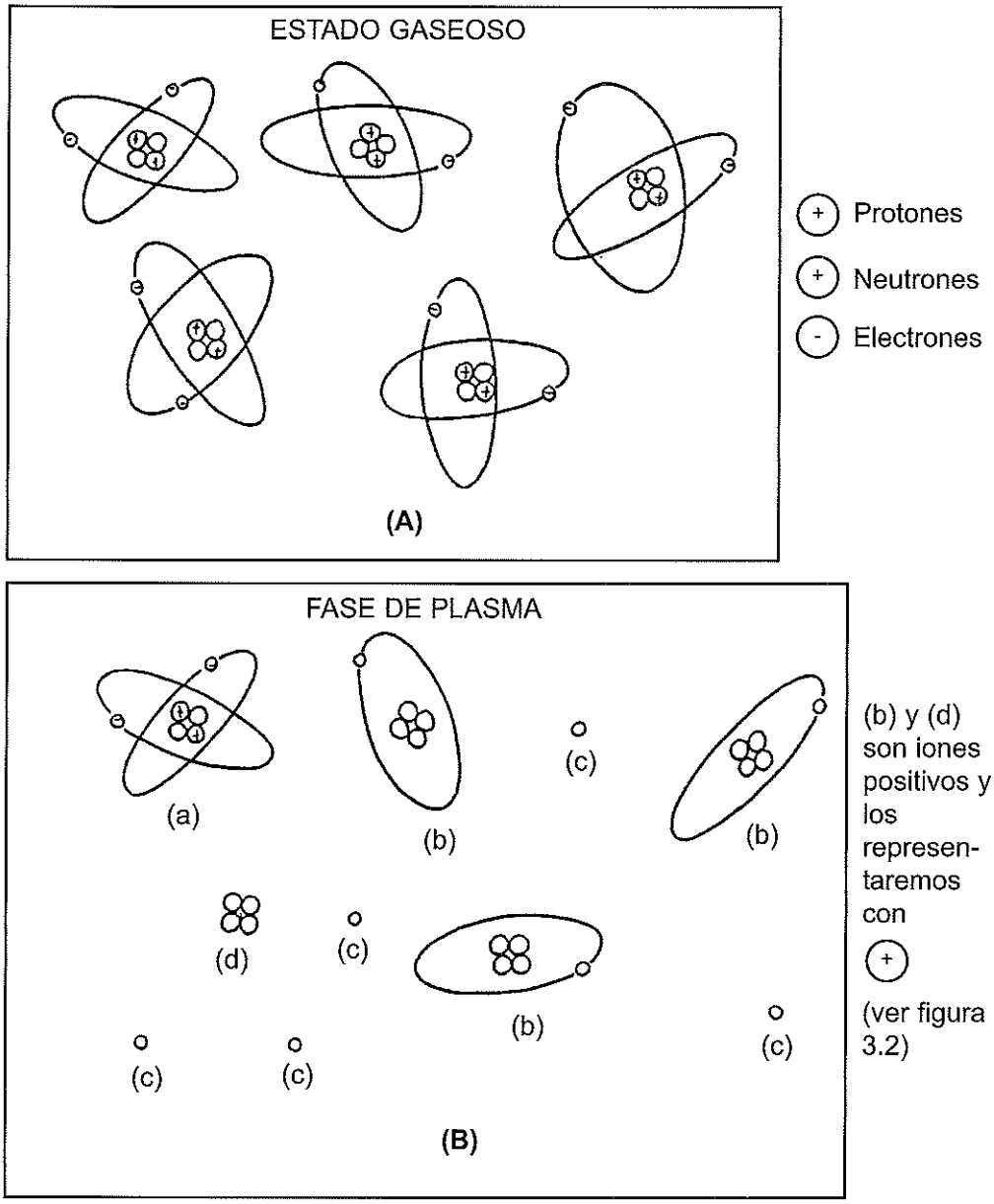


FIGURA 3.1: ESTADO GASEOSO Y FASE PLASMA

Los electrodos pueden ser de igual o de distinta naturaleza, por ejemplo, una varilla metálica (electrodo propiamente dicho) y una pieza metálica (parte a soldar o metal base) del mismo o de otro metal, pero en cualquier caso, para arrancar los electrones del electrodo para que bombardeen el gas y conseguir su ionización, es necesario comunicarles la energía suficiente.

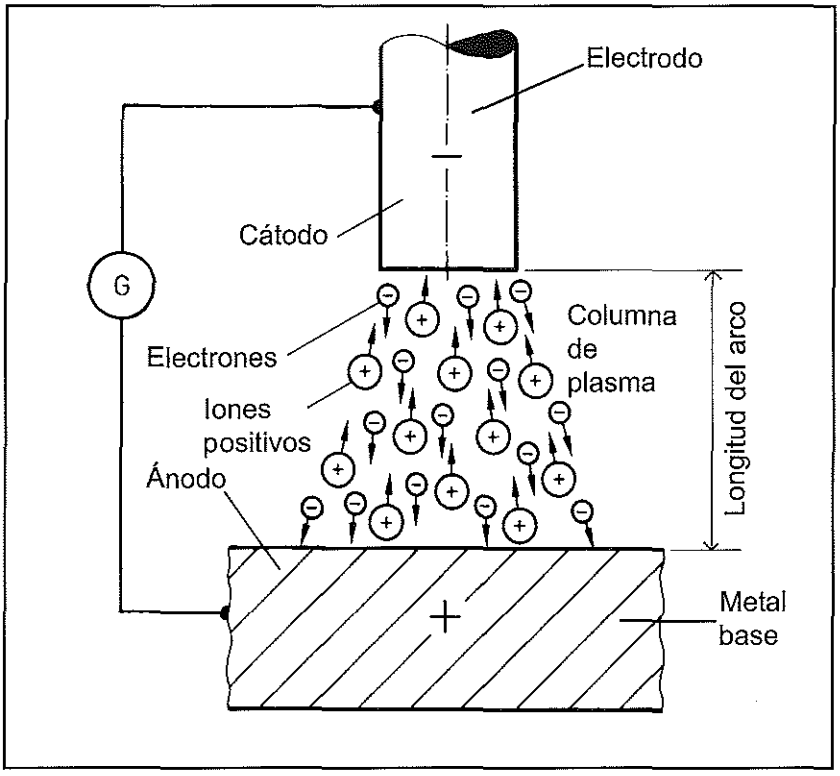


FIGURA 3.2: DESCRIPCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

El procedimiento más simple para aportar la energía necesaria es calentar el electrodo a una temperatura muy elevada. Por ello el método corriente para **cebar un arco** (iniciar un arco) es establecer un cortocircuito entre pieza y electrodo, ya que se produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo (llamado **cátodo**) al pasar una corriente elevada, separando ahora el electrodo bastan unos pocos voltios para que se establezca el arco. Una vez iniciado éste, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos. (Ver figura 3.2).

Los electrones siguen su camino hacia el **ánodo** (terminal positivo) y los iones del plasma se dirigen hacia el cátodo, al que ceden su energía cinética (de movimiento) que se transforma en calor, manteniendo así la temperatura del cátodo que sigue emitiendo electrones. (Ver figura 3.2).

3.3. Zonas Características del Arco de Soldeo

El arco de soldeo está dividido en tres regiones características (ver figura 3.2):

- Cátodo.
- Columna de plasma
- Ánodo.

En el **cátodo** (terminal negativo) se produce la **emisión de electrones**, que ionizan el gas convirtiéndose en plasma. Los iones que proceden de la columna de plasma bombardean el cátodo, calentándolo y permitiendo que se mantenga la emisión de electrones.

En el cátodo la energía se emplea en mantenerlo caliente y en arrancar los electrones, por lo que **la temperatura del cátodo es más baja que la del ánodo**, en donde toda la energía se emplea en su calentamiento.

El cátodo, además, presenta **propiedades autodecapantes** (de autolimpieza) debido a la acción mecánica del bombardeo de iones.

Al **ánodo** (terminal positivo) se dirigen los electrones atraídos por la carga positiva del ánodo.

Como ya se ha dicho antes, el ánodo se encontrará a una temperatura más elevada que el cátodo.

La **columna de plasma** se encuentra entre el ánodo y el cátodo y su temperatura es muy elevada, del orden de 3000° C. El plasma es un gas que ha sido calentado por un arco, como mínimo hasta un estado de ionización parcial, haciéndole conductor de la corriente eléctrica.

En la columna del plasma, la energía es absorbida para mantener el gas a una temperatura a la cual sea **conductor**.

El gas que se ioniza para convertirse en plasma puede ser el aire, los vapores desprendidos por el revestimiento del electrodo y/o el gas de protección.

La longitud del arco es la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza .

3.4. Influencia del Tipo de Corriente. Polaridad

Se puede emplear corriente continua o corriente alterna para establecer un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar. Si se utiliza corriente continua se puede diferenciar entre conectar el electrodo al terminal negativo y la pieza al positivo o bien conectar el electrodo al terminal positivo y la pieza al negativo, de esta forma aparece el concepto de POLARIDAD, que sólo existe en el caso de corriente continua.

3.4.1. Diferentes nombres de los dos tipos de polaridad

Si se conecta el electrodo en el terminal negativo (ver figura 3.3) y la pieza a soldar en el positivo, se dirá que se está soldando con **polaridad directa** utilizándose inapropiadamente a veces la expresión polaridad negativa, también se puede decir que se suelda con corriente continua electrodo negativo, de forma abreviada CCEN, también se puede encontrar en alguna máquina de soldeo SP (Straight Polarity, polaridad directa en inglés) o DCSP (Direct Current Straight Polarity, corriente continua polaridad directa en inglés).

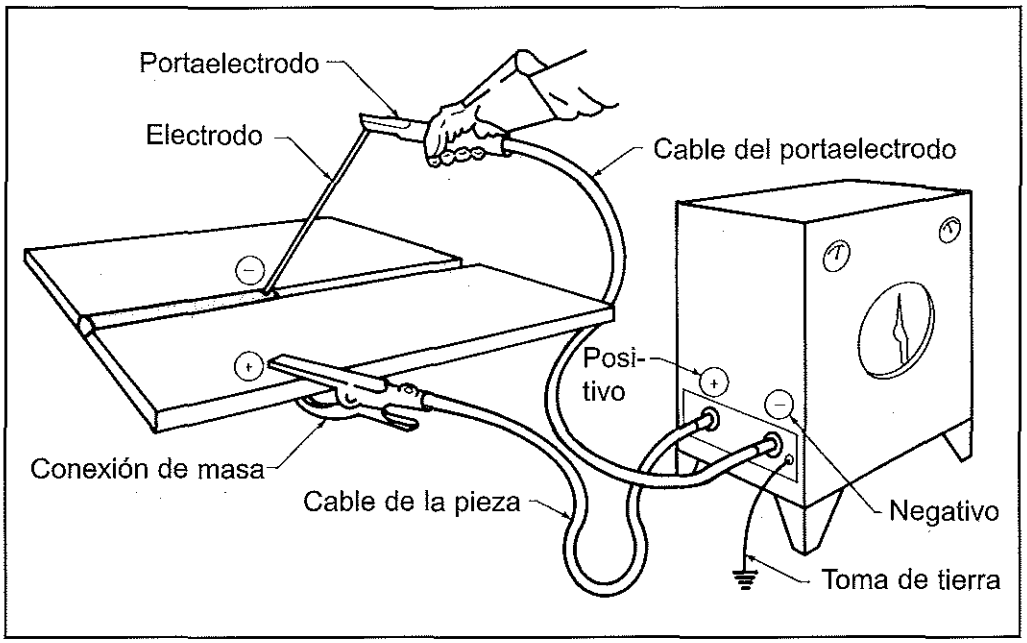


FIGURA 3.3: CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO NEGATIVO (SOLDEO CON ELECTRODOS REVESTIDOS)

Si se conecta el electrodo al terminal positivo (ver figura 3.4) y la pieza a soldar en el negativo, se dirá que se está soldando con **polaridad inversa**, utilizándose inapropiadamente a veces la expresión polaridad positiva, también puede decirse que se suelda con corriente continua electrodo positivo, de forma abreviada CCEP, también puede expresarse como RP (Reverse Polarity, polaridad inversa en inglés) o DCRP (Direct Current Reverse Polarity, corriente continua polaridad inversa en inglés).

La elección de la polaridad dependerá, entre otros factores, del tipo de proceso de soldeo, del tipo de electrodo y del material base.

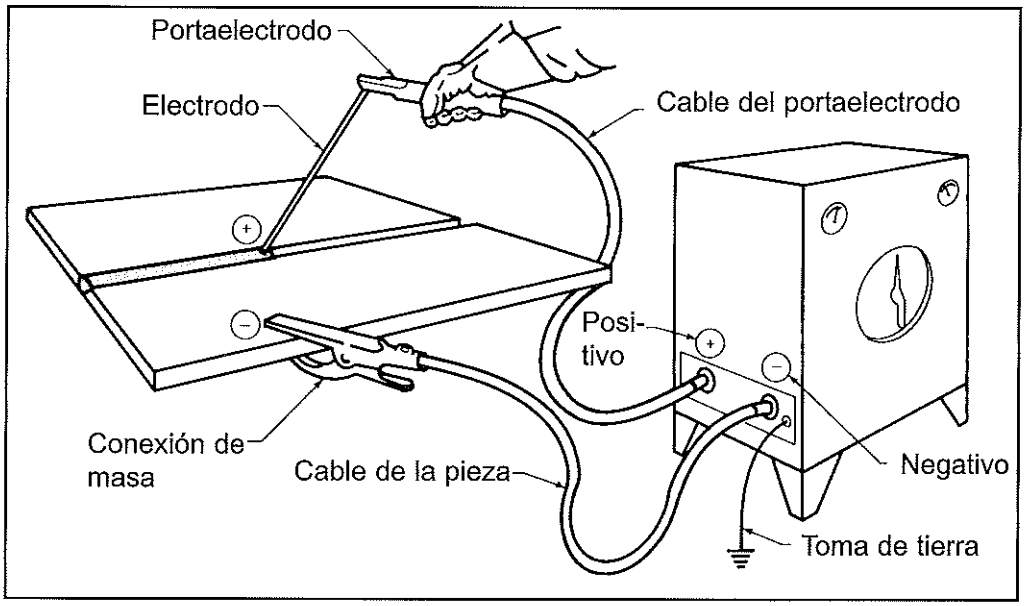


FIGURA 3.4: CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO POSITIVO (SOLDEO CON ELECTRODOS REVESTIDOS)

3.4.2. Efectos de la polaridad

Se ha indicado que la zona que más se calienta es la zona anódica (la positiva). Por tanto cuando se suelda con polaridad inversa (CCEP) la energía del arco se concentra fundamentalmente sobre el electrodo y por tanto la zona más caliente es el electrodo.

También se ha señalado que los iones positivos al chocar con el cátodo producen la rotura de la capa de óxido facilitando su eliminación, por lo que en el caso del soldeo con polaridad inversa la pieza será decapada. Esta circunstancia es muy importante en el caso de las aleaciones de aluminio o de magnesio, porque estos materiales están recubiertos por unas capas de óxidos refractarios, es decir, de alto punto de fusión. Estas aleaciones se sueldan utilizando la polaridad inversa, ya que se facilita la eliminación de las capas refractarias y se hace posible su soldeo.

En resumen las características de la polaridad inversa (CCEP) con los electrodos revestidos son (ver figura 3.5):

- En general se obtienen cordones poco anchos, con mayor penetración.
- Excesiva acumulación de calor en el electrodo, que puede provocar su sobrecalentamiento y rápido deterioro incluso a bajas intensidades de corriente.

- Se produce el efecto de decapado o limpieza de óxidos, facilitándose el soldeo de algunas aleaciones como las de aluminio y magnesio.

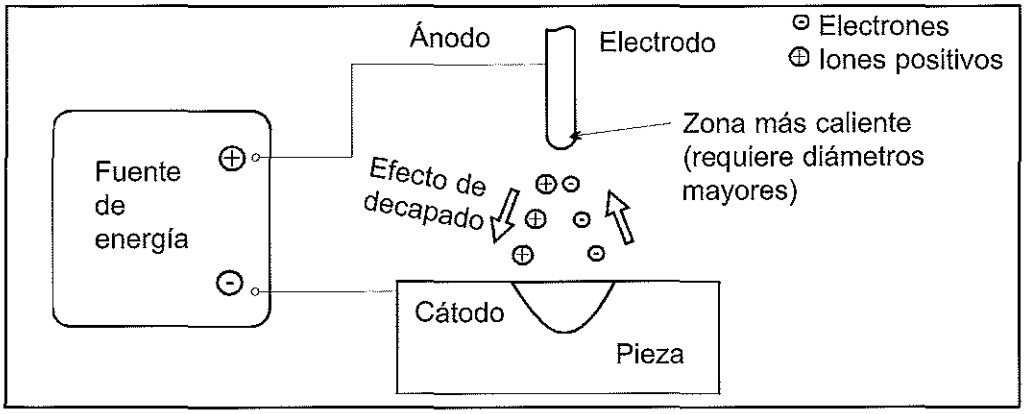


FIGURA 3.5: CARACTERÍSTICAS DE LA POLARIDAD INVERSA (CCEP) CON LOS ELECTRODOS REVESTIDOS

Si se conecta el electrodo en el negativo (CCEN) y las piezas a soldar en el positivo, serán las piezas las que se calientan más intensamente. Las características de la polaridad directa (CCEN) con los electrodos revestidos son (ver figura 3.6):

- En general se obtienen cordones más anchos con menor penetración.
- El electrodo soportará intensidades del orden de ocho veces mayores que si estuviese conectado al polo positivo, ya que se calienta menos.
- No se produce el efecto de decapado sobre las piezas, por lo que si se quisiera soldar aleaciones con capas refractarias deberían decaparse químicamente antes del soldeo.

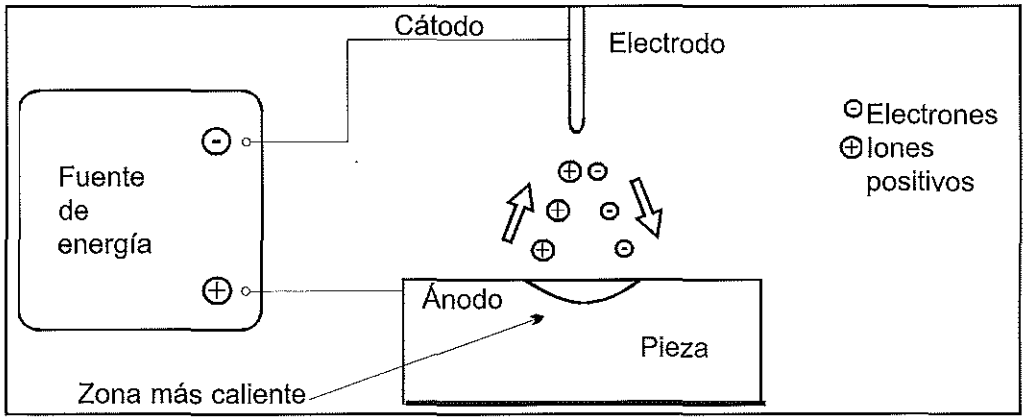


FIGURA 3.6: CARACTERÍSTICAS DE LA POLARIDAD DIRECTA (CCEN) CON LOS ELECTRODOS REVESTIDOS

3.4.3. Efectos de la corriente alterna

Cuando se establece un arco en corriente alterna, el electrodo actúa de ánodo durante medio ciclo y de cátodo durante el otro medio ciclo (ver figura 3.7), es decir se está produciendo alternativamente un ciclo en el que el electrodo actúa de positivo y de negativo; este cambio, en Europa, se produce 100 veces por segundo y por tanto es imperceptible[1].

Debido a este cambio continuo, el soldeo en corriente alterna aúna, aunque de forma reducida, los efectos de las dos polaridades en la corriente continua.

Sin embargo, no siempre es fácil mantener un arco eléctrico en corriente alterna, ya que la tensión que suministra la fuente de energía está continuamente variando y llegando incluso a anularse. Para poder mantener el arco eléctrico encendido es necesario que la tensión sea mayor de un cierto valor (U_i en la figura 3.7), siempre que la tensión no alcance ese valor el arco se extinguirá, pudiéndose volver a encender si al superar la tensión U_i, el cátodo no se ha enfriado demasiado.

Considerando lo anterior se concluye que el arco en corriente alterna es más inestable que en corriente continua.

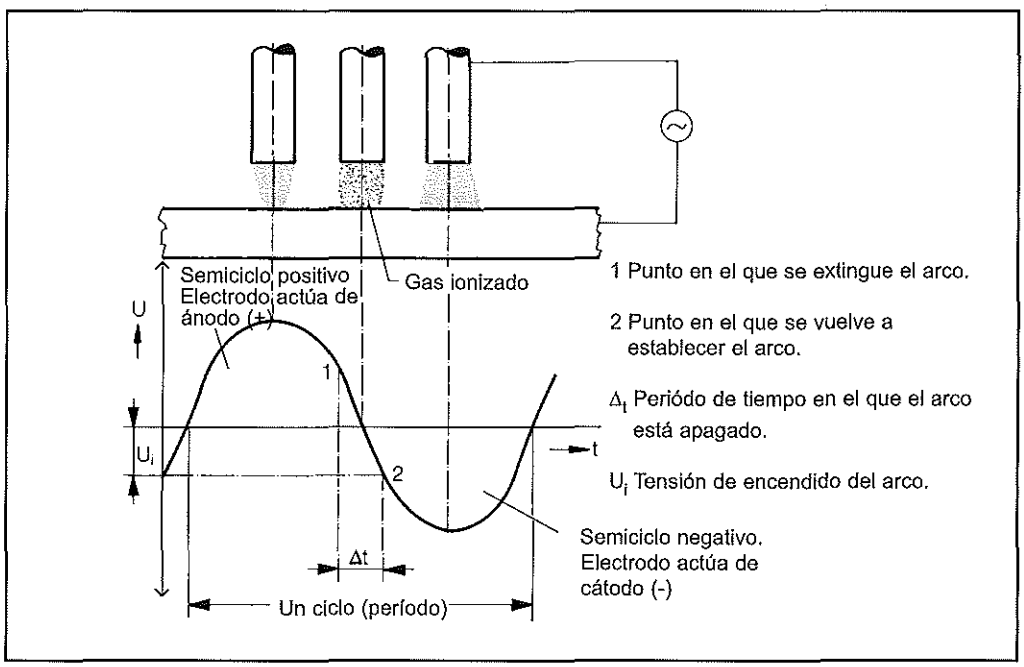


FIGURA 3.7: EFECTO DE LA CORRIENTE ALTERNA EN EL ARCO ELÉCTRICO

1. Recuérdese que la frecuencia de la corriente alterna de la red es de 50 Hz en Europa (ver capítulo 2)

3.5. Soplo Magnético

Se ha indicado (ver apartado 2.11) que siempre que la corriente eléctrica circula por un conductor se produce un campo magnético circular alrededor del mismo (figura 2.12); cuando se suelda existirá un campo magnético (que se representará mediante líneas de fuerza) alrededor del camino que lleve la corriente eléctrica, es decir, desde el punto de contacto del electrodo con la pinza o la boquilla, pasando por el arco eléctrico y por la pieza a soldar hasta llegar a la conexión de masa.

La existencia de un campo magnético alrededor del electrodo tiene otras repercusiones, además de favorecer la transferencia del metal de aportación. Una de las repercusiones más importantes es el soplo magnético.

El **soplo magnético** es la desviación del arco de soldeo producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor del arco. Su efecto se suele presentar en los extremos de las piezas que se sueldan cuando éstas son ferromagnéticas, ver figura 3.8.

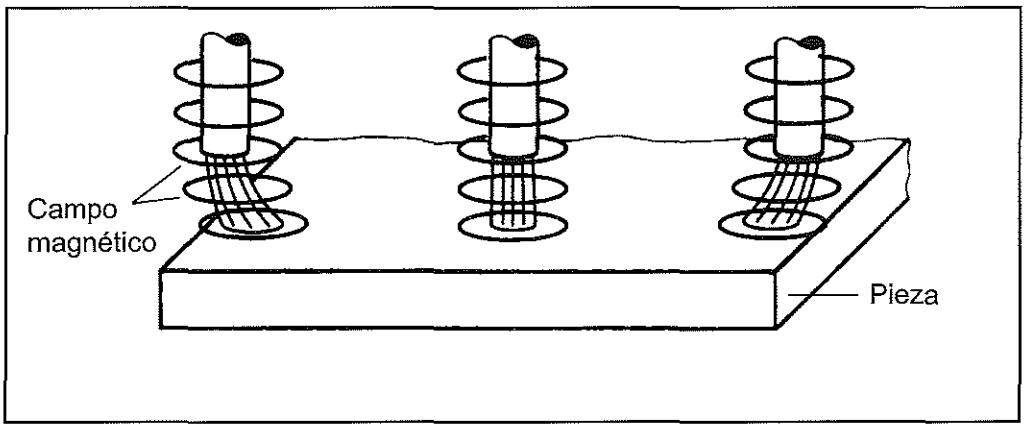


FIGURA 3.8: SOPLO MAGNÉTICO AL SOLDAR CERCA DE LOS EXTREMOS DE UNA PIEZA FERROMAGNÉTICA

En general, la distorsión del campo se suele producir como resultado de dos factores básicos:

- El cambio de dirección de la corriente al entrar en la pieza de metal base y dirigirse hacia la masa. Las líneas de fuerza están dibujadas como círculos que rodean la corriente, ya que son creadas por esta corriente. Ver figura 3.9.

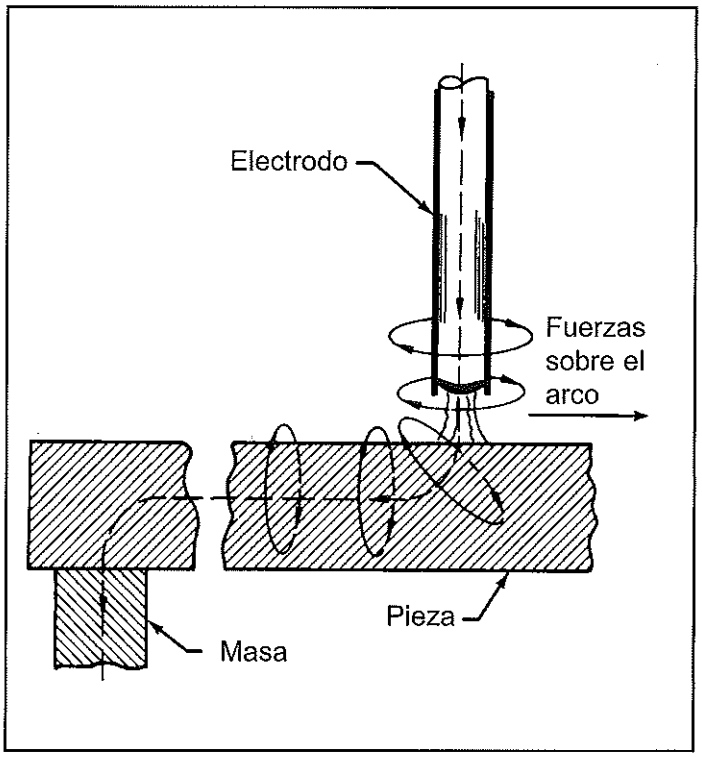


FIGURA 3.9: CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE AL DIRIGIRSE HACIA LA CONEXIÓN DE MASA Y DISTORSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO PROVOCADO POR ESTE CAMBIO

- Las líneas de fuerza del campo magnético existente, tienden a pasar por la pieza de metal base (sobre todo si ésta es ferromagnética) antes que por el aire, pues es más fácil para ellas ese camino. Por este motivo, las líneas de fuerza se juntarán en las proximidades de los bordes de la chapa. Ver figura 3.10.

Tanto en un caso como en otro, las líneas de fuerza se juntan en una determinada zona; en la figura 3.9 se juntan sobre la curva donde la corriente cambia de dirección y en la figura 3.10 se juntan en el borde de la chapa. Que las líneas de fuerza estén muy juntas, significa que el campo magnético en esa zona es mucho más fuerte que en la zona donde las líneas de fuerza están más separadas.

El arco va a estar sometido a una **fuerza**, debido a estas distorsiones en el campo magnético. Esta fuerza va a tender siempre a **dirigir** el arco hacia el camino más fácil, es decir, hacia donde el campo magnético sea menos fuerte. Esta fuerza es la que provoca la desviación del arco, es decir, es la causa del soplo magnético.

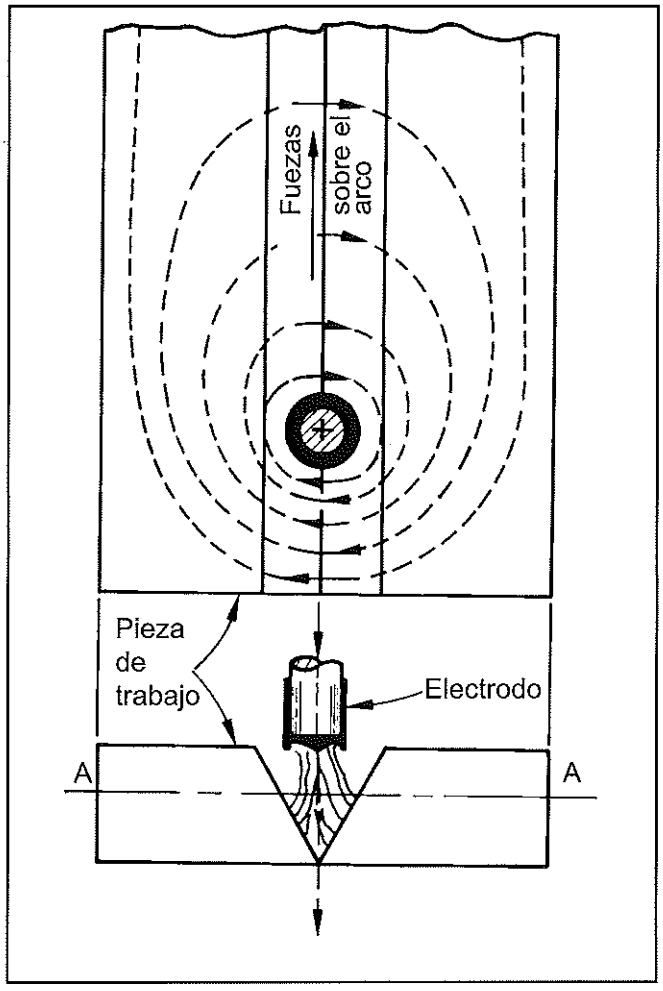


FIGURA 3.10: DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE FUERZA EN LAS PROXIMIDADES DE UN EXTREMO DE LA CHAPA BASE

Las razones más comunes por las que se produce el soplo del arco son:

- Al soldar cerca de los extremos de las piezas (ver figura 3.8).
- Al soldar cerca de la conexión de masa (ver figura 3.11).
- Al soldar cerca de grandes piezas ferromagnéticas (ver figura 3.12).

Con **corriente alterna** no hay soplo magnético, porque se neutralizan los efectos magnéticos debido al continuo y rápido cambio de dirección de la corriente.

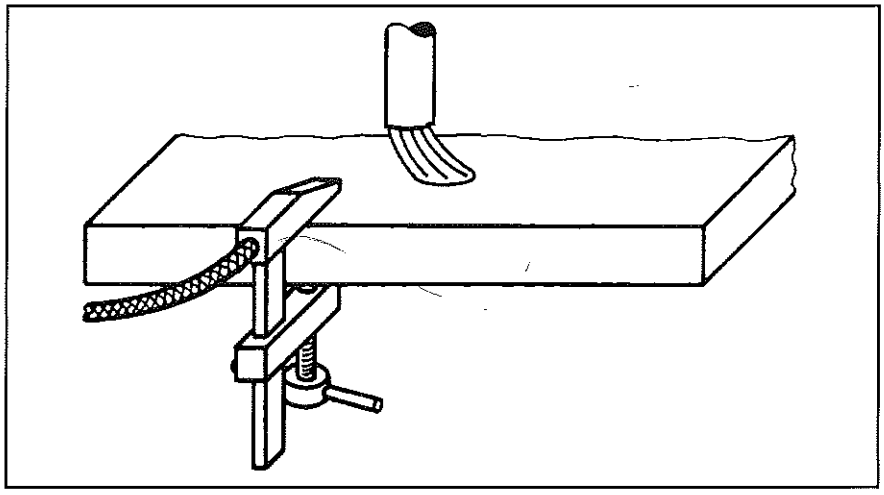


FIGURA 3.11: SOPLO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR LA CONEXIÓN DE MASA

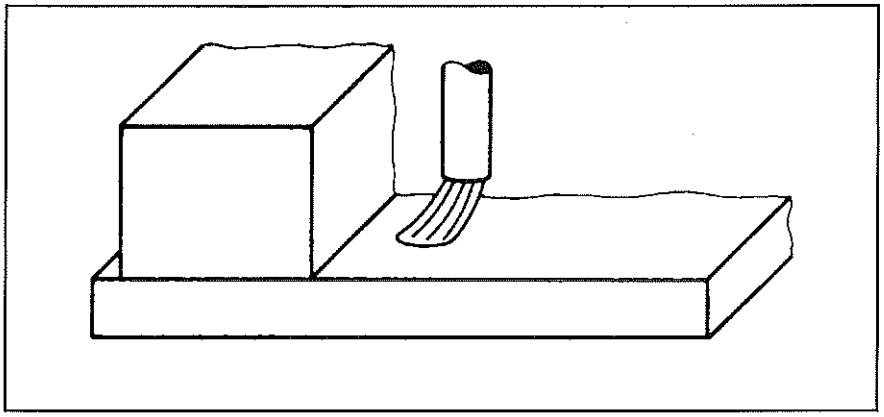


FIGURA 3.12: SOPLO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UNA PIEZA FERROMAGNÉTICA GRANDE PRÓXIMA A LA ZONA DE SOLDEO

En general, **para disminuir el soplo magnético** deberemos:

- Colocar la masa tan lejos como sea posible de las piezas que van a soldarse.
- Reducir la corriente de soldeo todo lo posible.
- Utilizar una longitud de arco corta.
- Posicionar el ángulo del electrodo en dirección opuesta al soplo magnético, de forma que la misma fuerza del arco lo contrarrestre. Ver figura 3.13.

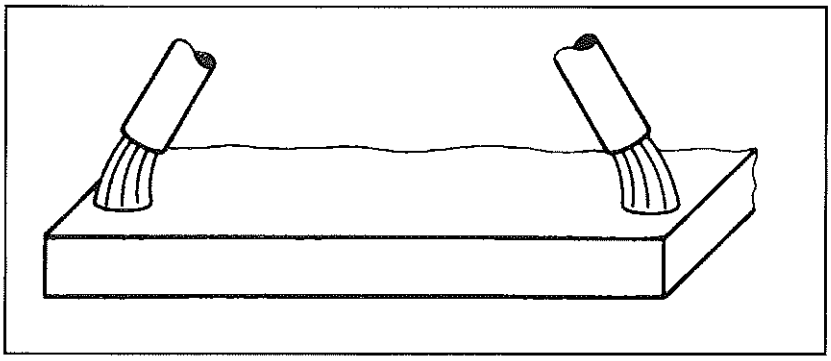


FIGURA 3.13: ELECCIÓN DEL ÁNGULO DE SOLDEO ADECUADO PARA DISMINUIR EL SOPLO MAGNÉTICO

- Emplear una secuencia de soldeo de paso de peregrino.
- Colocar apéndices en los extremos de la unión. (Figura 3.14)

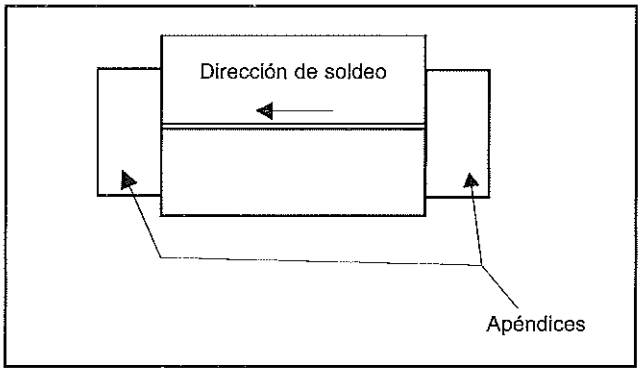


FIGURA 3.14: COLOCACIÓN DE APÉNDICES EN LOS EXTREMOS DE LAS CHAPAS PARA DISMINUIR EL SOPLO MAGNÉTICO

- Utilizar corriente alterna.

3.6. Característica del Arco

El arco eléctrico se puede considerar como un conductor gaseoso por tanto existirá una relación entre su intensidad de corriente y su diferencia de potencial, esta relación no es tan sencilla como la ley de Ohm (ver apartado 2.6). La relación existente entre el voltaje y la intensidad del arco se denomina "característica del arco" y se representa en la figura 3.15.

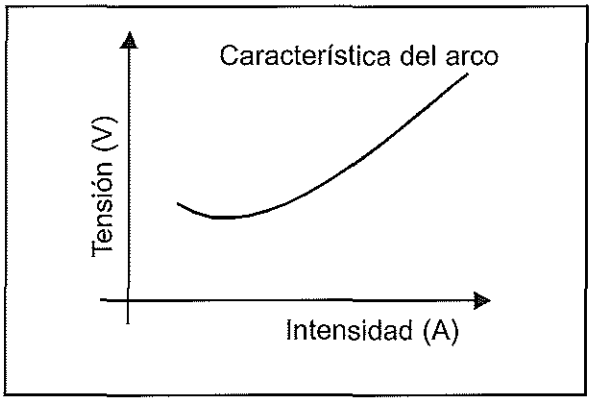


FIGURA 3.15: CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO

La curva característica depende, entre otras cosas, del tamaño y naturaleza del cátodo y del ánodo, la naturaleza del gas de protección o del recubrimiento del electrodo y la longitud del arco.

En la figura 3.16, se puede ver las curvas para cuatro longitudes de arco diferentes. A partir de esta figura se observa que para una misma intensidad, la tensión aumenta con la longitud del arco.

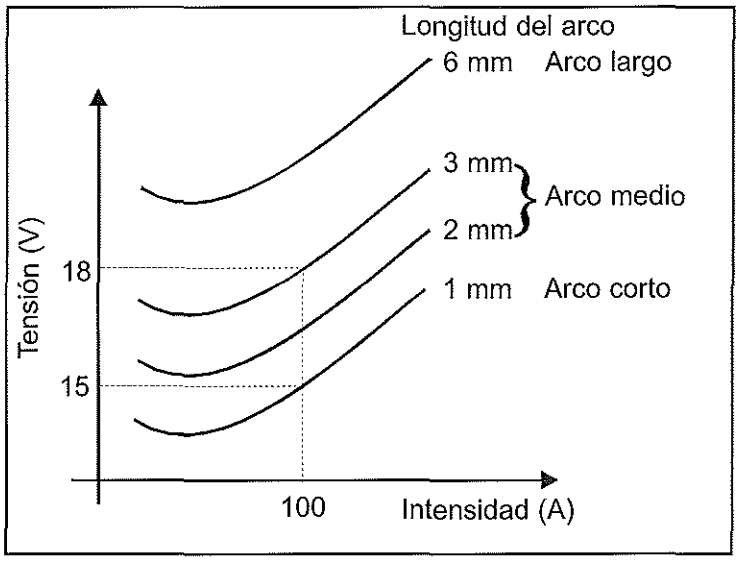


FIGURA 3.16: CARACTERÍSTICAS DEL ARCO PARA DIFERENTES LONGITUDES DE ARCO

Capítulo 4

Fuentes de Energía para el Soldeo por Arco

INDICE

4.1. Fuente de energía 48

4.2. Transformadores 48

4.3. Rectificadores 50

4.4. Convertidores y grupos electrógenos 53

4.5. Inversores 54

4.6. Cuidados que se deben tener con las fuentes de energía 54

4.7. Cables de soldeo 55

4.8. Característica de la fuente de energía 58

4.8.1. Fuente de energía de intensidad constante 58

4.8.2. Fuente de energía de tensión constante 61

4.9. Factor de marcha 62

4.10. Placa de características de la fuente de energía 63

4.1. Fuente de Energía

Las compañías eléctricas suministran corriente alterna de baja intensidad y de alto voltaje, que es adecuada para los usos domésticos y para la mayoría de los usos industriales, mientras que para el soldeo se necesitan altas intensidades (50 - 1500 A) y bajos voltajes (20 - 80 V) en corriente alterna o en corriente continua (ver figura 4.1).

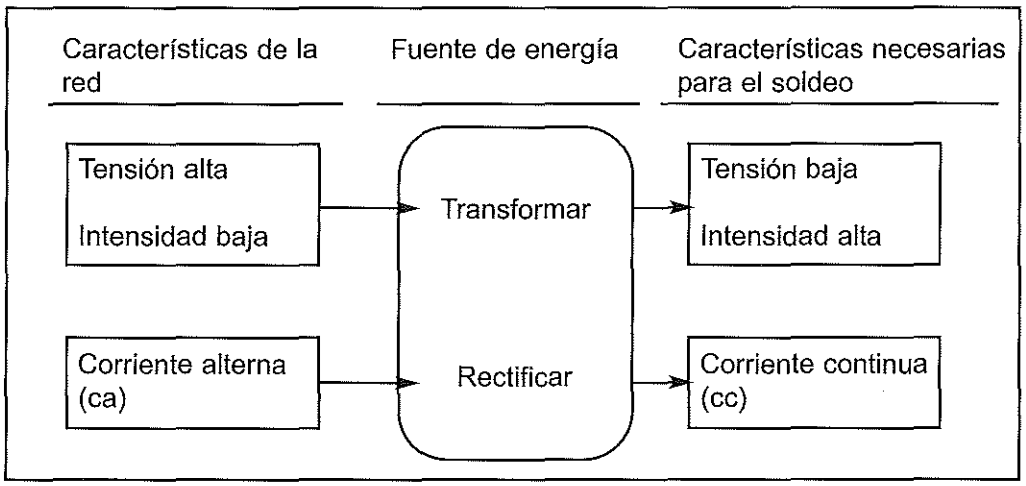


FIGURA 4.1: FUNCIONES FUNDAMENTALES DE LA FUENTE DE ENERGÍA

La fuente de energía es el elemento que se encarga de transformar y/o convertir la corriente eléctrica de la red en otra alterna o continua, con una tensión e intensidad adecuadas para la formación y estabilización del arco eléctrico.

Clasificación

Ciertos rasgos de las fuentes de alimentación de soldeo por arco nos permiten hacer una clasificación, de acuerdo con una o más de las características siguientes. Con respecto a la "salida típica", una fuente de energía puede proporcionarnos corriente alterna, continua o ambas. También puede tener la característica de proporcionarnos corriente constante o tensión constante. Con respecto a la energía de "entrada", una fuente de energía puede obtenerla de la red de la corriente industrial o de una máquina de combustión interna.

4.2. Transformadores

Un transformador es un dispositivo que modifica los valores de la tensión e intensidad de la corriente alterna (ver figura 4.2).

Un transformador está formado por un núcleo de hierro (también denominado núcleo magnético) que posee dos cables conductores enrollados, formando dos bobinas (ver figura 4.3). La primera bobina (llamada primario) se conecta a la corriente alterna de la red y la segunda bobina (llamada secundario) se conecta al portaelectrodo y a la pieza.

Todo lo anterior estará envuelto por una carcasa que tendrá unas bornas para la conexión de los cables de soldeo, junto con un sistema de regulación de la corriente y unos indicadores.

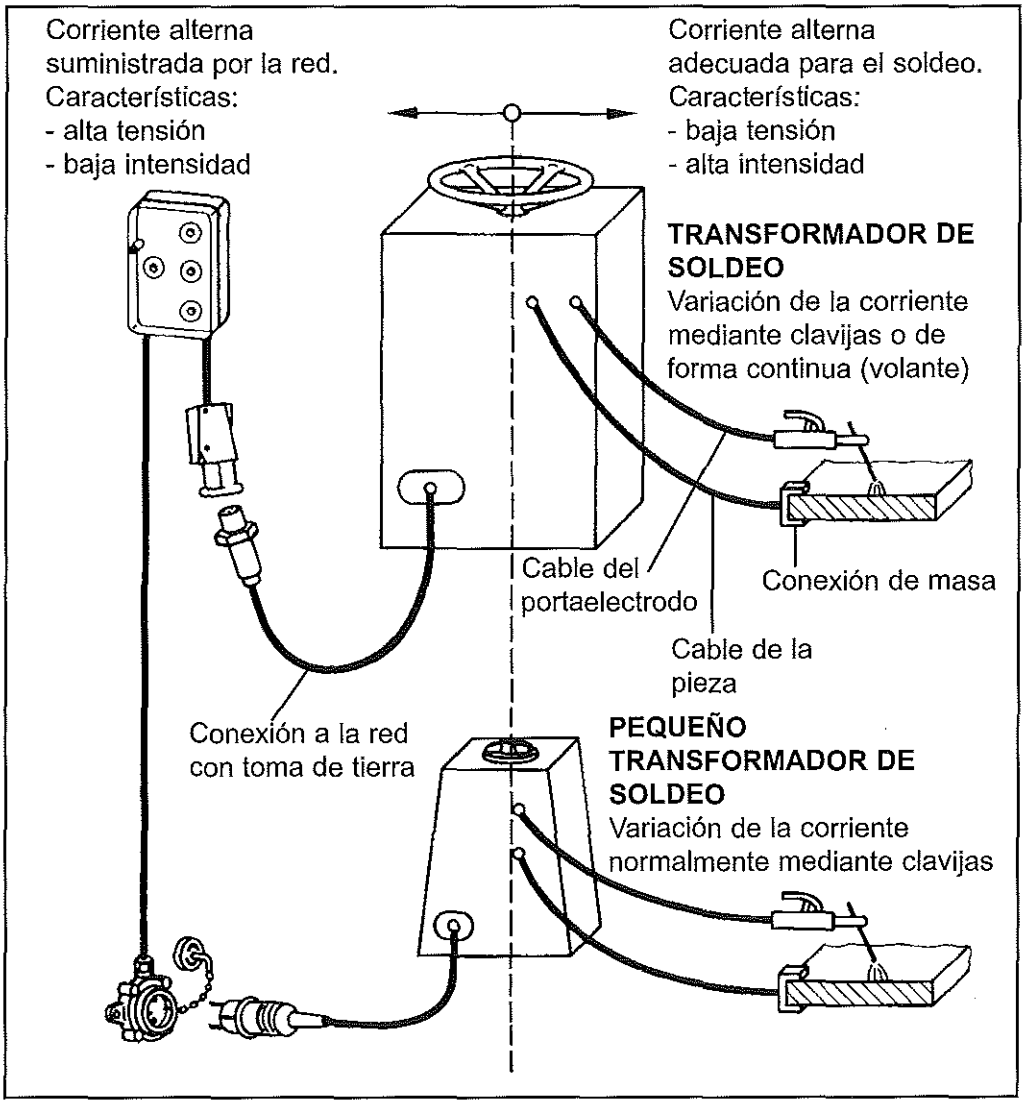

Corriente alterna suministrada por la red.
Características:
- alta tensión
- baja intensidad
Corriente alterna adecuada para el soldeo.
Características:
- baja tensión
- alta intensidad
TRANSFORMADOR DE SOLDEO
Variación de la corriente mediante clavijas o de forma continua (volante)
Cable del portaelectrodo
Conexión de masa
Cable de la pieza
Conexión a la red con toma de tierra
PEQUEÑO TRANSFORMADOR DE SOLDEO
Variación de la corriente normalmente mediante clavijas

FIGURA 4.2: TRANSFORMADORES DE SOLDEO

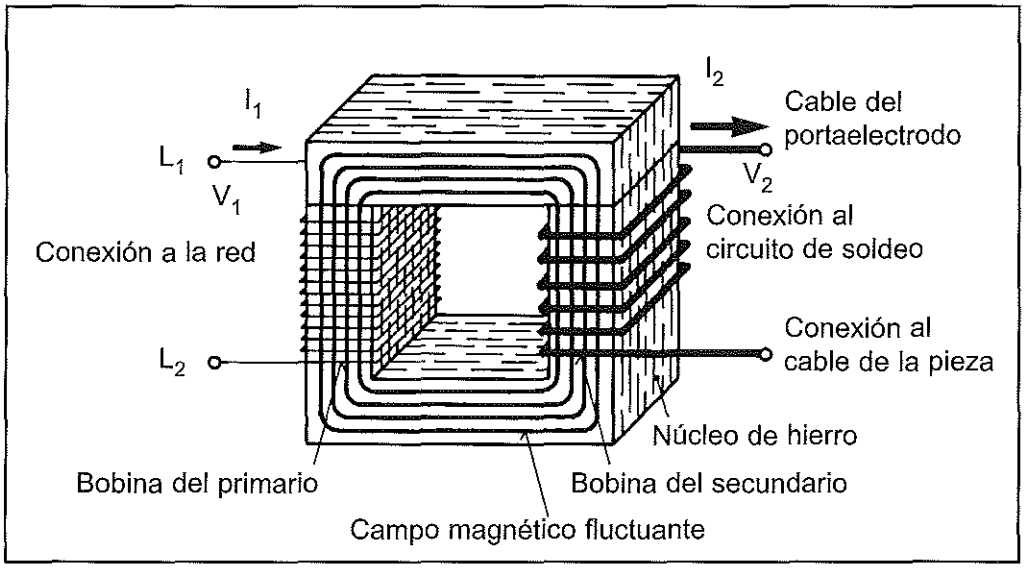
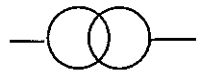


FIGURA 4.3: CONSTITUCIÓN Y PRINCIPIO DEL TRANSFORMADOR

Un transformador se representa como 

4.3. Rectificadores

Los rectificadores son aparatos que dejan pasar la corriente sólo en un sentido, en consecuencia, la corriente alterna la convierten en continua. Es decir, un rectificador para soldeo convierte la corriente alterna en corriente continua, convirtiendo las ondas sinusoidales en una línea que se puede suponer recta y horizontal (ver figura 4.4).

El elemento rectificador, el diodo, sólo deja pasar la corriente eléctrica en un sentido (ver figura 4.5), se puede describir como el equivalente eléctrico de una válvula de un solo sentido.

En la figura 4.6 se puede ver como actúa un diodo sobre una corriente alterna monofásica. En la figura 4.7 se observa el efecto de un conjunto de diodos sobre una corriente alterna trifásica, la onda formada es prácticamente continua. Como se puede observar, la rectificación de la corriente trifásica es mucho mejor; por esta razón, en general, los rectificadores se conectan trifásicos a la red y a las tensiones usuales de 220/380 V. Sólo en el caso de que los rectificadores tengan una pequeña absorción de potencia, se conectan monofásicos a la red alterna de 220 V.

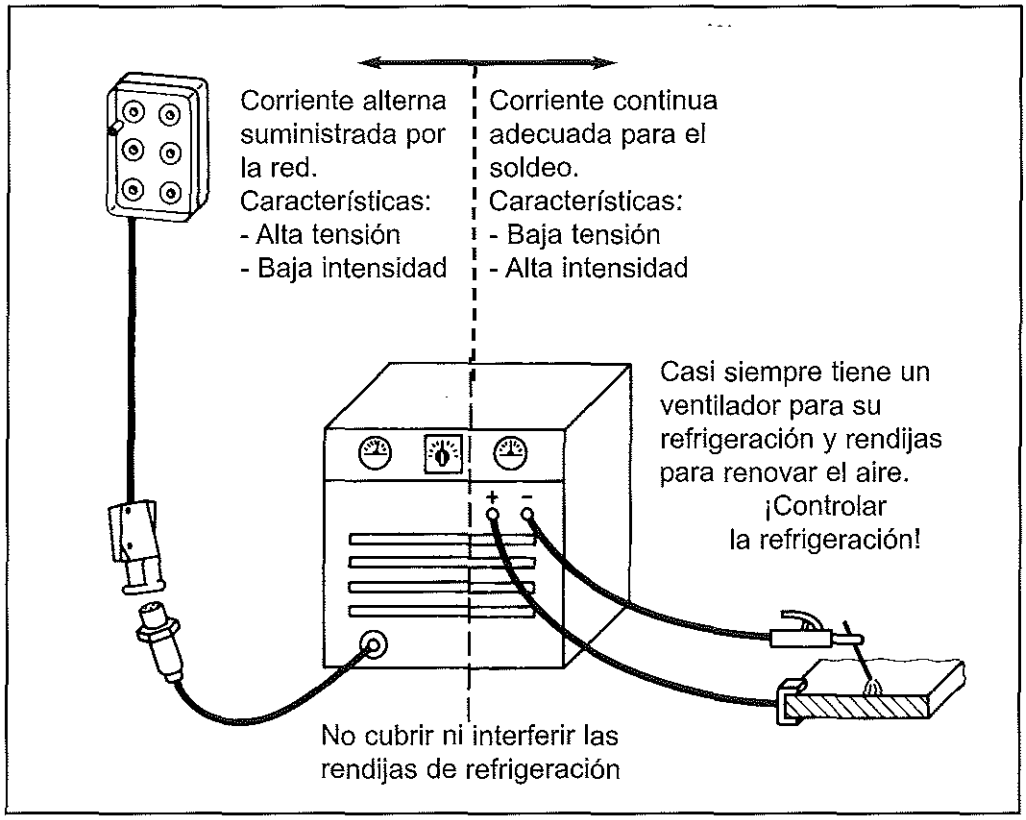


FIGURA 4.4: RECTIFICADOR DE SOLDEO

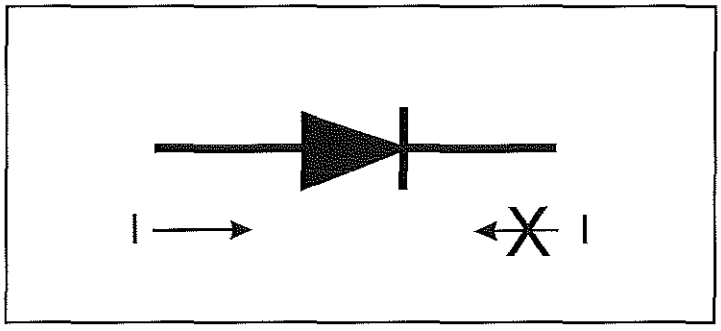


FIGURA 4.5: REPRESENTACIÓN DE UN DIODO

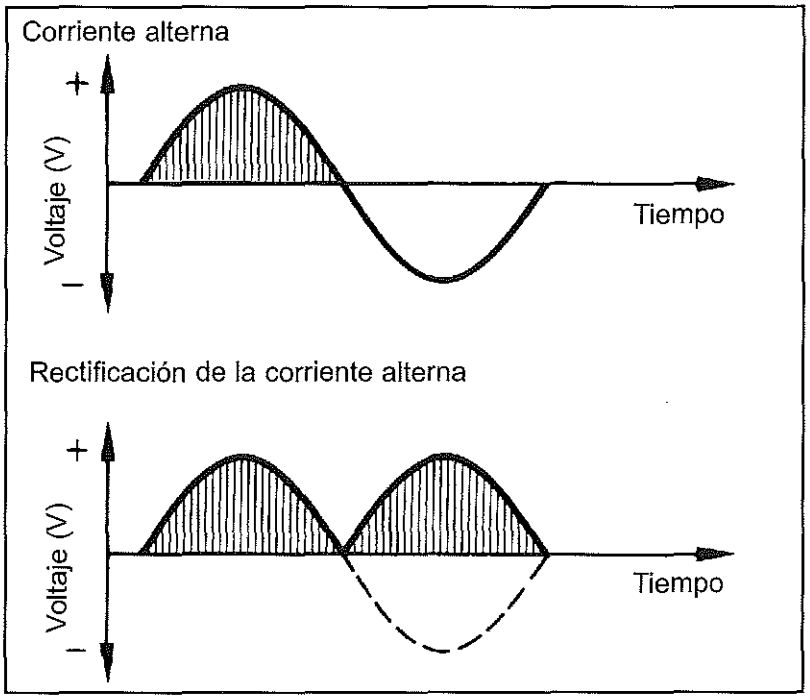


FIGURA 4.6: RECTIFICACIÓN DE LA CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

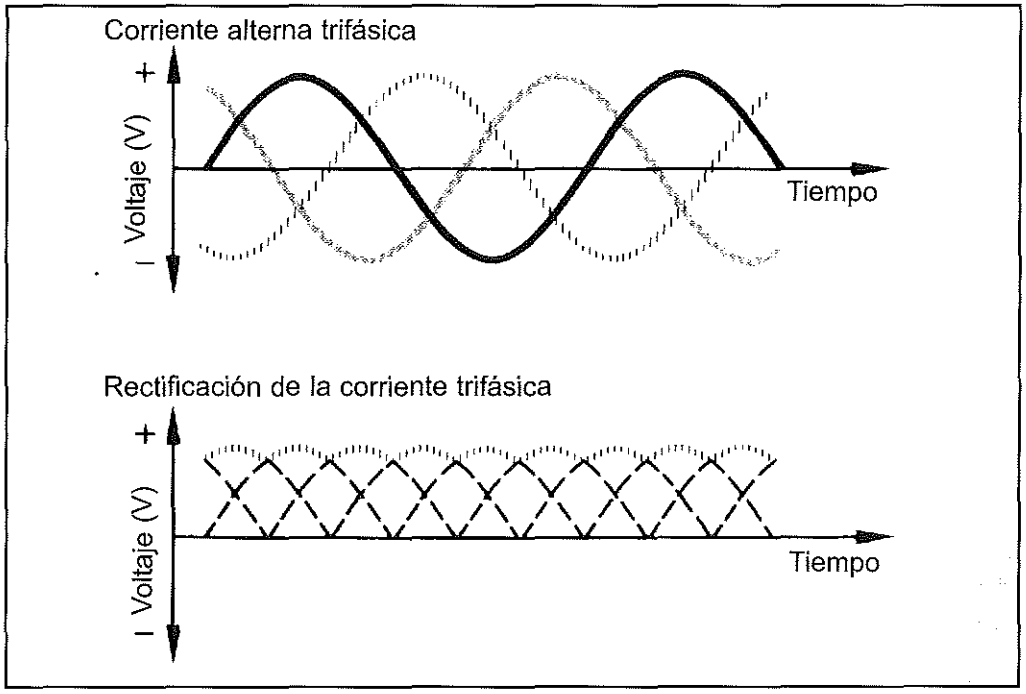
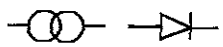


FIGURA 4.7: RECTIFICACIÓN DE LA CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

Para soldeo los rectificadores llevan acoplados, a la entrada de la alimentación de la red, un transformador que es el encargado de modificar la intensidad y tensión de la corriente alterna para poder soldar.

El símbolo representativo del rectificador es 

4.4. Convertidores y Grupos Electrógenos

Los convertidores y grupos electrógenos están formados por un motor y un generador de corriente. (Ver figura 4.8).

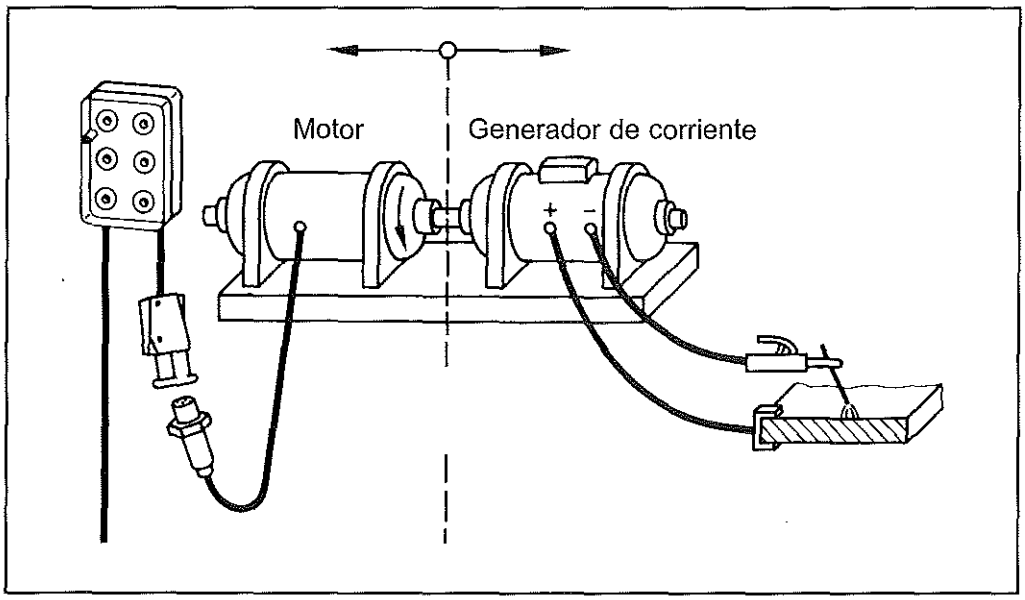


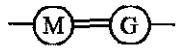
FIGURA 4.8: CONVERTIDOR DE SOLDEO

El motor puede ser eléctrico o puede ser de combustión interna. El generador puede ser de corriente continua (también llamando dinamo) o de corriente alterna. Cualquiera de las cuatro combinaciones puede ser posible.

Normalmente al conjunto motor eléctrico-dinamo se le denomina convertidor, y al conjunto motor de combustión interna-generador de corriente alterna se denomina grupo electrógeno de corriente alterna, siendo el conjunto motor de combustión interna-dinamo un grupo electrógeno de corriente continua.

Los grupos electrógenos se utilizan cuando no existe energía eléctrica disponible.

Tanto los convertidores como los grupos electrógenos se denominan también equipos giratorios o dinámicos por tener un motor.

El símbolo de identificación de cualquier máquina rotativa es 

Aunque antes se acoplaban de una forma separada el motor eléctrico y el generador (como se ha representado en la figura 4.8), más recientemente se hacen grupos con una sola carcasa, como se representa en la figura 4.9.

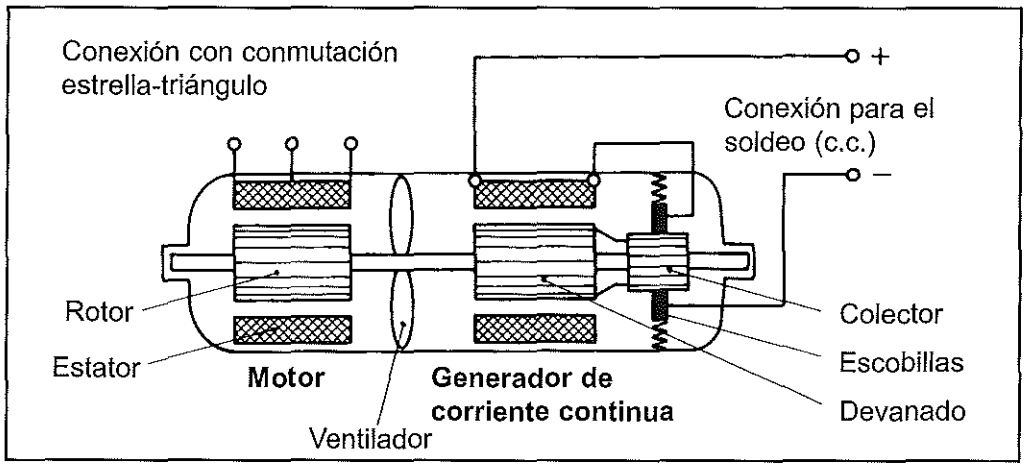


FIGURA 4.9: CONVERTIDOR DE SOLDEO

4.5. Inversores

Aún cuando el transporte de energía eléctrica puede realizarse tanto en c.c. como en c.a., su generación, por el contrario, sólo resulta económica y técnicamente ventajosa si se realiza en forma de c.a.

De lo dicho se concluye que es necesario disponer de medios capaces de transformar o convertir una en otra forma de energía. El proceso de conversión de c.a. en c.c. se ha indicado ya que recibe el nombre de rectificación, mientras que al proceso inverso, paso de c.c. a c.a. se la ha asigando el nombre de "inversión". Así pues, los "inversores" son equipos capaces de transformar la energía eléctrica continua en energía eléctrica alterna, sin que ello implique una determinada forma de onda o frecuencia.

4.6. Cuidados que se Deben de Tener con las Fuentes de Energía

Para conseguir una buena conservación de los equipos, se deberá:

- Apretar perfectamente todas las conexiones de los cables a la fuente.
- Protegerlas de la lluvia si no están preparadas para ello.
- No situarlas en zonas donde haya agua.
- Evitar caídas y golpes.
- No forzar los mandos de que disponen para la regulación de la intensidad de corriente.
- No dejar los electrodos conectados al portaelectrodos, cuando no se esté soldando, para evitar los posibles cortocircuitos y en consecuencia averías en la fuente.
- Desconectarlas de la red principal cuando no estén en servicio.
- Conectarlas a la red después de comprobar que la tensión de ésta es la misma que la de entrada de la fuente de corriente.
- Tomar las debidas precauciones al manipular las fuentes de corriente: No tocar con las manos o calzado mojado; manipular con unos guantes secos; comprobar que el cable de tierra está conectado: tocar con la mano vuelta.
- En el caso de incendio de una fuente de corriente deberemos cortar inmediatamente la corriente de entrada a la misma e intentar apagar el fuego con extintores de polvo o con tierra, pero no con agua.

4.7. Cables de Soldeo

La instalación eléctrica de suministro de electricidad se compone de (ver figura 4.2):

- Cable del portaelectrodo que puede contener una rabiza, que es un cable un poco más flexible que facilita el manejo al soldador.
- Cable de la pieza.
- Conexión de masa (ver figura 4.10).

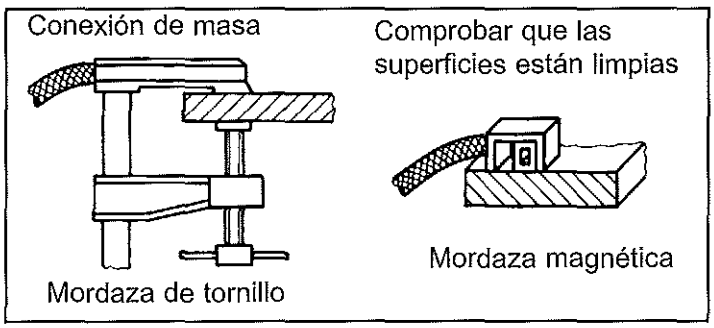


FIGURA 4.10: CONEXIÓN DE MASA

- Conexión a la red.
- Toma de tierra (normalmente agrupada con la conexión a la red).
- Conexiones de los cables a la fuente de energía. (Ver figura 4.11 A).

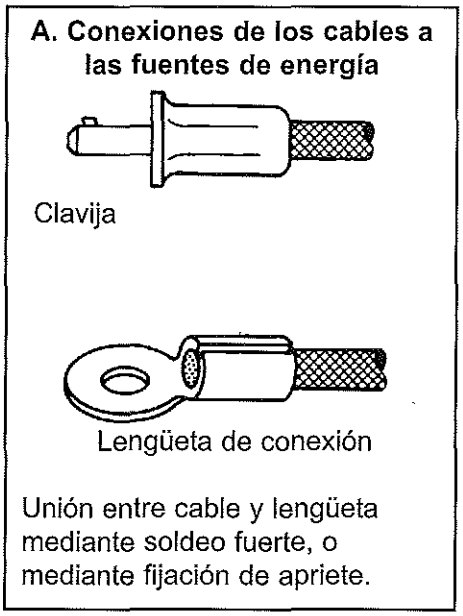

A. Conexiones de los cables a las fuentes de energía
Clavija
Lengüeta de conexión
Unión entre cable y lengüeta mediante soldeo fuerte, o mediante fijación de apriete.

FIGURA 4.11: CONEXIONES PARA CABLES DE SOLDEO

- Conexiones entre cables de soldeo para alargarlos. (Ver figura 4.11 B).

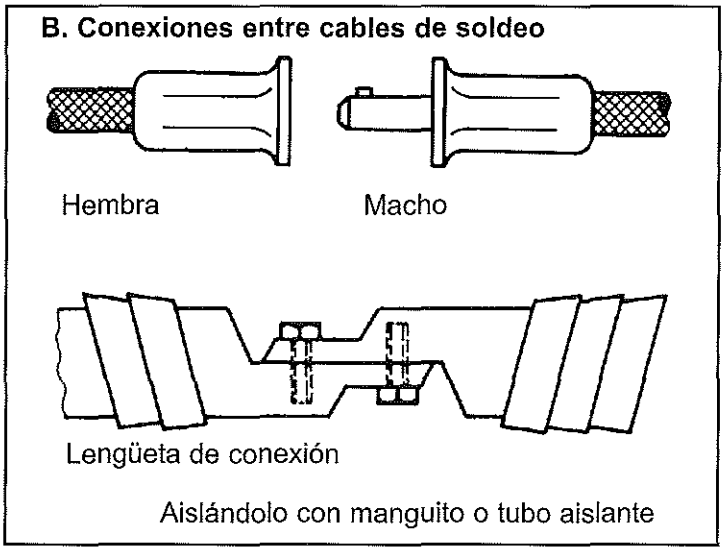


FIGURA 4.11: CONEXIONES PARA CABLES DE SOLDEO

- Portaelectrodos. Cuando exista algún defecto del aislamiento se deberá reemplazar.
- Enchufes de conexión a la red. (Ver figura 4.12).

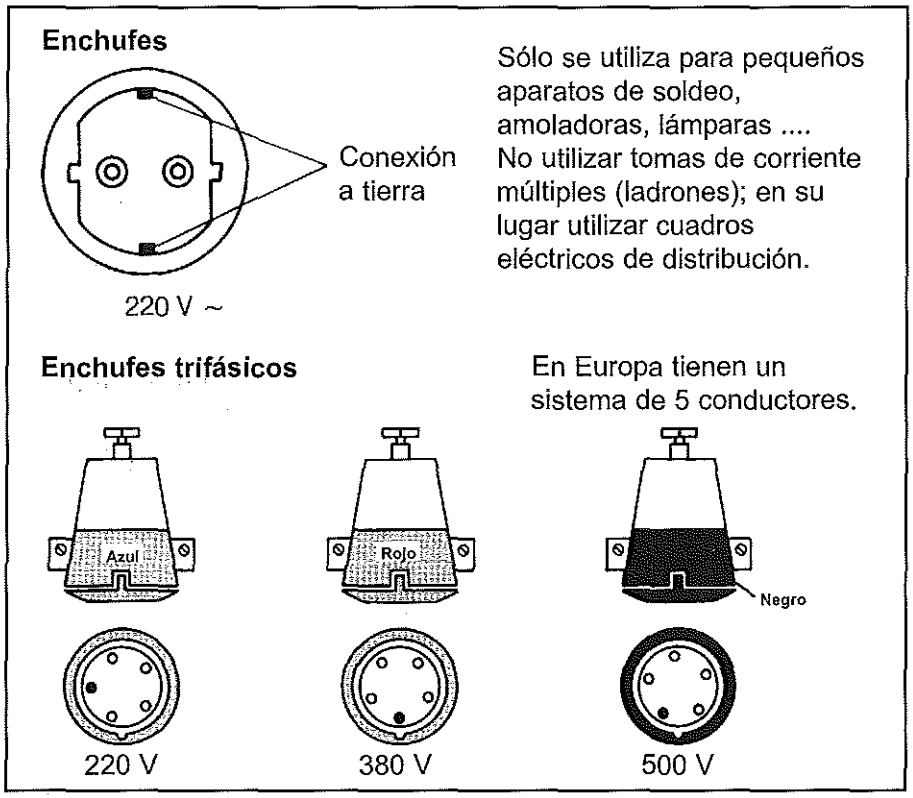

Enchufes
Conexión a tierra
220 V ~
Sólo se utiliza para pequeños aparatos de soldeo, amoladoras, lámparas .... No utilizar tomas de corriente múltiples (ladrones); en su lugar utilizar cuadros eléctricos de distribución.
Enchufes trifásicos
En Europa tienen un sistema de 5 conductores.
Azul
Rojo
Negro
220 V
380 V
500 V

FIGURA 4.12: DESCRIPCIÓN DE ENCHUFES UTILIZADOS

Los cables de soldeo están formados por uno o varios conductores generalmente de cobre recubiertos de una o varias capas de aislante.

Los cables oponen resistencia al paso de la corriente y por tanto se calentarán, siendo necesario elegir la sección de los conductores en función de la intensidad que va a circular por ellos (mayor sección cuanto mayor sea la intensidad); sin embargo también se deberá cuidar que las conexiones entre los conductores no estén flojas, que la longitud de los cables no sea excesiva (tanto de los cables estirados como de los cables enrollados, prefiriéndose siempre la disposición estirada) y que los cables estén en buen estado.

Misión de la toma de tierra

La misión de la toma de tierra es evitar una posible descarga al soldador cuando manipula la fuente de corriente. Debe conectarse por un extremo a una parte de la

estructura de la fuente y por el otro a un conductor con contacto directo con la tierra (pica de tierra).

4.8. Característica de la Fuente de Energía

Un aspecto importante a considerar desde el punto de vista práctico es la relación existente entre la fuente de alimentación y las características del arco. Una fuente de alimentación en soldadura tiene su propia curva característica voltaje-intensidad. La característica de la fuente de alimentación es la representación gráfica de la relación que existe en todo momento entre la tensión y la intensidad de corriente de la fuente. La corriente y el voltaje reales obtenidos en el proceso de soldeo vienen determinados por la intersección de las curvas características de la máquina y la del arco. Éste es el punto de funcionamiento, o punto de trabajo, definido por la intensidad y tensión de soldeo (I_1 y V_1) en la figura 4.13.

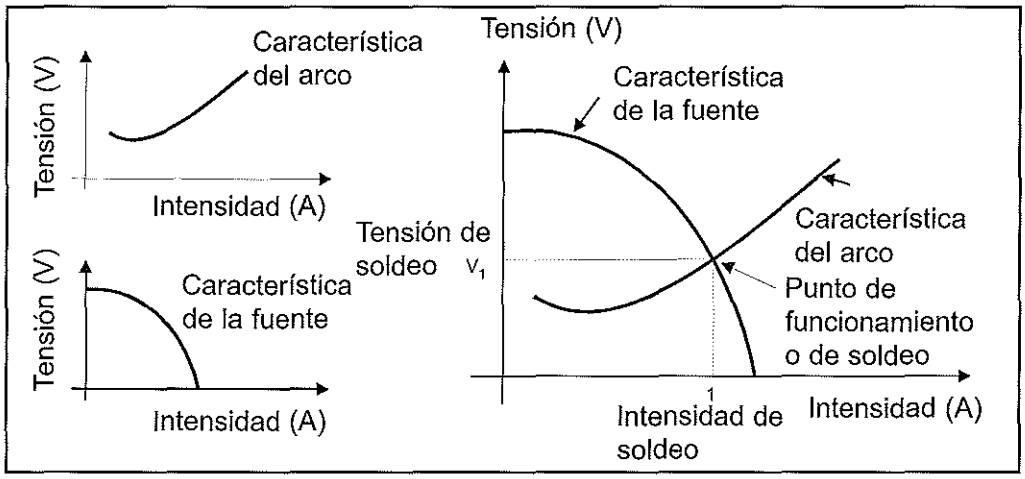


FIGURA 4.13: CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO, DE LA FUENTE Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

Resulta común el clasificar las fuentes de alimentación para el soldeo por arco en fuentes de intensidad constante y de tensión constante. Esta clasificación se basa en las "características de las fuentes de energía".

4.8.1. Fuente de energía de intensidad constante

Una máquina de soldeo por arco de intensidad constante es aquélla que nos sirve para ajustar la corriente del arco y que tiene una característica estática que tiende a

producir una intensidad de corriente relativamente constante. Una fuente de este tipo se denomina de intensidad constante o característica descendente. (Ver figura 4.14).

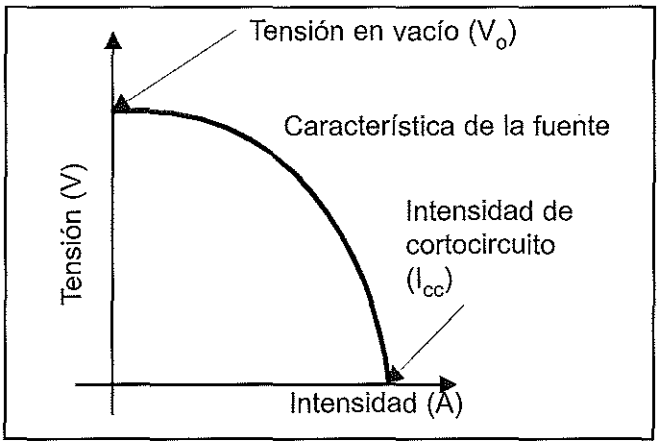


FIGURA 4.14: CARACTERÍSTICA DE UNA FUENTE DE ENERGÍA DE INTENSIDAD CONSTANTE

En la figura 4.14 se han señalado dos puntos importantes: la intensidad de cortocircuito (I_{cc}) y la tensión en vacío (V_o).

La intensidad de cortocircuito (I_{cc}) es la máxima intensidad que suministra la fuente. Cuando se ceba el arco se produce un cortocircuito, en este momento se anula la tensión y la intensidad que circula es la máxima (I_{cc}), gracias a esto se calienta el electrodo y se puede cebar el arco.

La tensión en vacío (V_o) es la máxima tensión que puede suministrar la fuente y es la tensión existente en los terminales de la máquina cuando no se está soldando.

El elevado voltaje a circuito abierto (hasta 80 voltios y, usualmente, el doble del de trabajo), se emplea principalmente para asegurar la facilidad en el cebado y en el mantenimiento del arco.

Este tipo de característica es la más adecuada para el soldeo TIG y soldeo con electrodos revestidos. Con este tipo de fuentes los cambios de longitud del arco producidos de forma natural por el soldador, no provocan grandes cambios en la intensidad de soldeo y se puede obtener un arco estable.

Para explicar lo anteriormente indicado en la figura 4.15 se ha superpuesto la característica de la fuente de energía y la del arco, el punto de intersección de ambos es el punto de funcionamiento de trabajo, que es la tensión e intensidad con

la que se está soldando; también se ha dibujado la característica del arco al variar la longitud de éste; podemos observar que aunque la variación de la característica del arco sea elevada, la variación de la intensidad es pequeña.

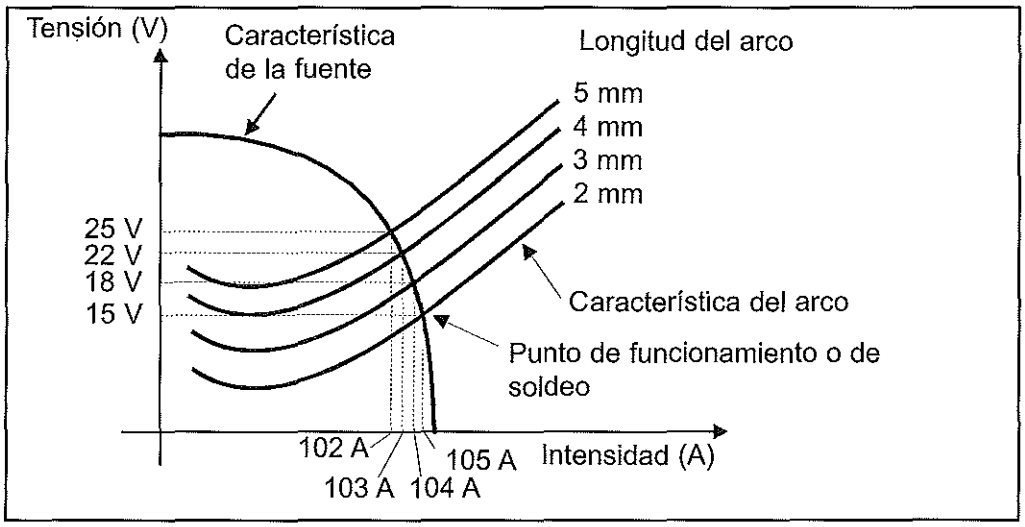


FIGURA 4.15: LA VARIACIÓN DE LA LONGITUD DEL ARCO NO PRODUCE GRANDES CAMBIOS EN LA INTENSIDAD DE SOLDEO CUANDO SE UTILIZA UNA FUENTE DE INTENSIDAD CONSTANTE

Las fuentes de intensidad constante también se pueden utilizar para el soldeo FCAW, MIG-MAG y SAW pero se prefieren las de tensión constante.

Al variar la corriente de salida en una fuente de energía de intensidad constante, se varía la curva característica como se indica en la figura 4.16.

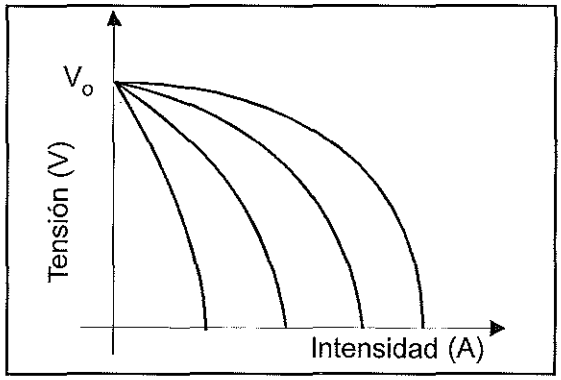


FIGURA 4.16: VARIACIÓN DE LA CORRIENTE EN UNA FUENTE DE ENERGÍA DE INTENSIDAD CONSTANTE

La fuente de energía también puede tener un ajuste de la tensión en vacío, además de un control sobre la intensidad de la corriente de salida. (Ver figura 4.17).

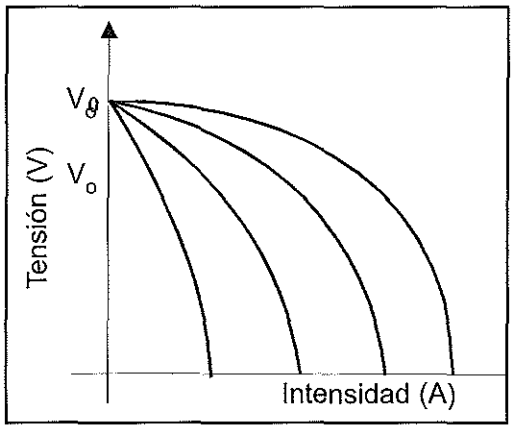


FIGURA 4.17: AJUSTE DE LA TENSIÓN DE VACÍO

4.8.2. Fuente de energía de tensión constante

Una máquina para el soldeo por arco de tensión constante es aquélla que nos sirve para ajustar la tensión en el arco y que tiene una curva característica que tiende a producir una tensión de salida relativamente constante.

En la figura 4.18 se muestra una característica de una fuente de tensión constante; también se muestra la característica del arco (característica de arco largo y característica de arco corto) y se puede observar que aunque varíe la característica del arco la tensión permanece constante.

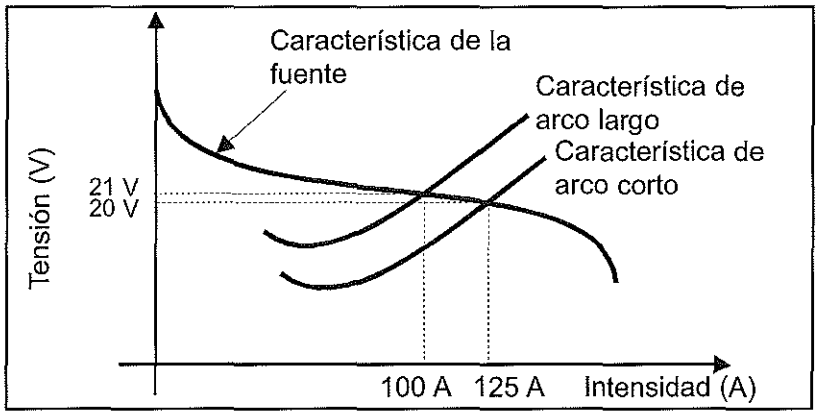


FIGURA 4.18: CARACTERÍSTICA DE UNA FUENTE DE TENSIÓN CONSTANTE

En el soldeo MIG-MAG, FCAW y SAW el alambre es alimentado a una velocidad constante y, para conseguir unas condiciones estables de soldeo, es necesario mantener la longitud del arco tan constante como sea posible. Se puede demostrar que para obtener la máxima velocidad de recuperación de cualquier pequeña fluctuación en la longitud del arco, es conveniente disponer de máquinas con características de tensión constante. En la práctica el voltaje de tales generadores no es constante, sino que cae ligeramente al aumentar la corriente.

Con una máquina de tensión constante la variación de la intensidad es grande al variar la longitud del arco y, como consecuencia, se puede controlar la longitud de arco de forma automática.

4.9. Factor de Marcha

El factor de marcha (o factor de operación) es el porcentaje de tiempo, durante un período cualquiera, en el que una fuente de energía, o sus accesorios, pueden funcionar en las condiciones previstas sin sobrecalentarse.

$$\text{Factor de marcha (\%)} = \frac{\text{Tiempo de soldeo}}{\text{duración del periodo de tiempo}} \times 100$$

$$\text{Duración del periodo} = \text{tiempo de soldeo} + \text{tiempo de descanso}$$

El factor de marcha dependerá de los parámetros de soldeo, cuanto mayor sea la intensidad de soldeo menor será el factor de marcha de la máquina.

Ejemplo:

Si se utiliza una fuente de energía que tiene un factor de marcha del 60%, significa que no se puede utilizar más de 6 minutos por cada 10 minutos de trabajo (ver figura 4.19).

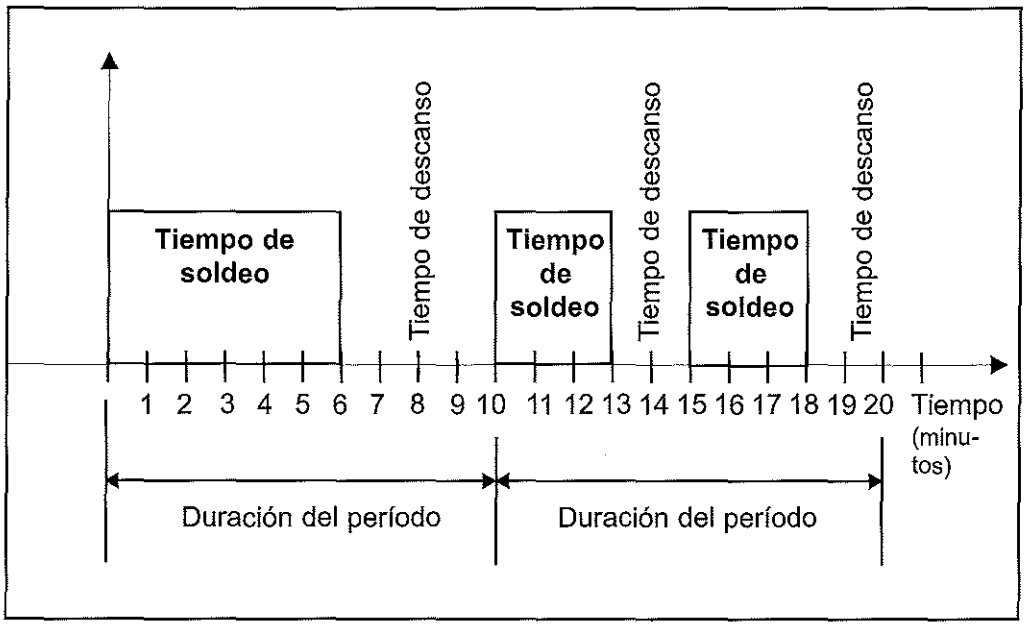

Tiempo de soldeo
Tiempo de descanso
Tiempo de soldeo
Tiempo de descanso
Tiempo de soldeo
Tiempo de descanso
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Tiempo (minutos)
Duración del período
Duración del período

FIGURA 4.19

Quizás es el factor de marcha el parámetro que mejor determina el tipo de servicio para el cual se ha diseñado una fuente de energía. Así por ejemplo, las fuentes de energía diseñadas para el soldeo manual tienen normalmente un factor de marcha del 60%. Los procesos automáticos y semiautomáticos suelen requerir que el factor de marcha sea del 100%.

4.10. Placa de Características de la Fuente de Energía

En las siguientes figuras (4.20 y 4.21) se representa la placa de características de una fuente de energía para soldeo, suele estar situada en la parte posterior de la máquina y, como su nombre indica, hace una descripción de la máquina incluyendo el tipo de corriente de entrada, la de salida, clasificación en cuanto al proceso de soldeo, el factor de marcha, etc.

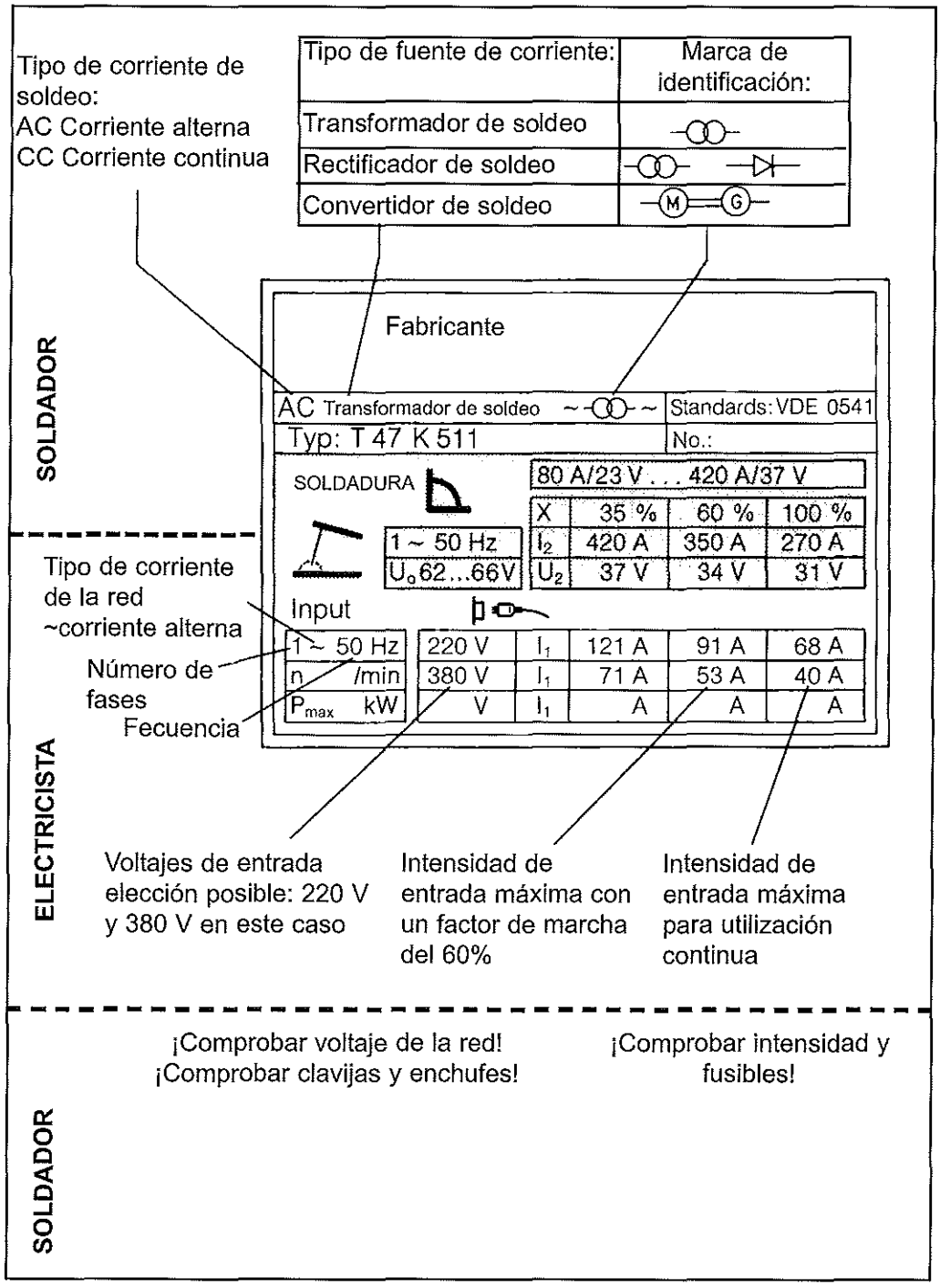

Tipo de corriente de soldeo:
AC Corriente alterna
CC Corriente continua
Tipo de fuente de corriente:
Marca de identificación:
Transformador de soldeo
Rectificador de soldeo
Convertidor de soldeo
M
G
SOLDADOR
Fabricante
AC Transformador de soldeo
Standards: VDE 0541
Typ: T 47 K 511
No.:
SOLDADURA
80 A/23 V . . . 420 A/37 V
X 35 % 60 % 100 %
I2 420 A 350 A 270 A
U2 37 V 34 V 31 V
1 ~ 50 Hz
U0 62...66V
Input
1 ~ 50 Hz
n /min
Pmax kW
220 V I1 121 A 91 A 68 A
380 V I1 71 A 53 A 40 A
V I1 A A A
Tipo de corriente de la red
~corriente alterna
Número de fases
Fecuencia
ELECTRICISTA
Voltajes de entrada elección posible: 220 V y 380 V en este caso
Intensidad de entrada máxima con un factor de marcha del 60%
Intensidad de entrada máxima para utilización continua
¡Comprobar voltaje de la red!
¡Comprobar clavijas y enchufes!
¡Comprobar intensidad y fusibles!
SOLDADOR

FIGURA 4.20: PLACA DE CARACTERÍSTICAS - ENTRADA

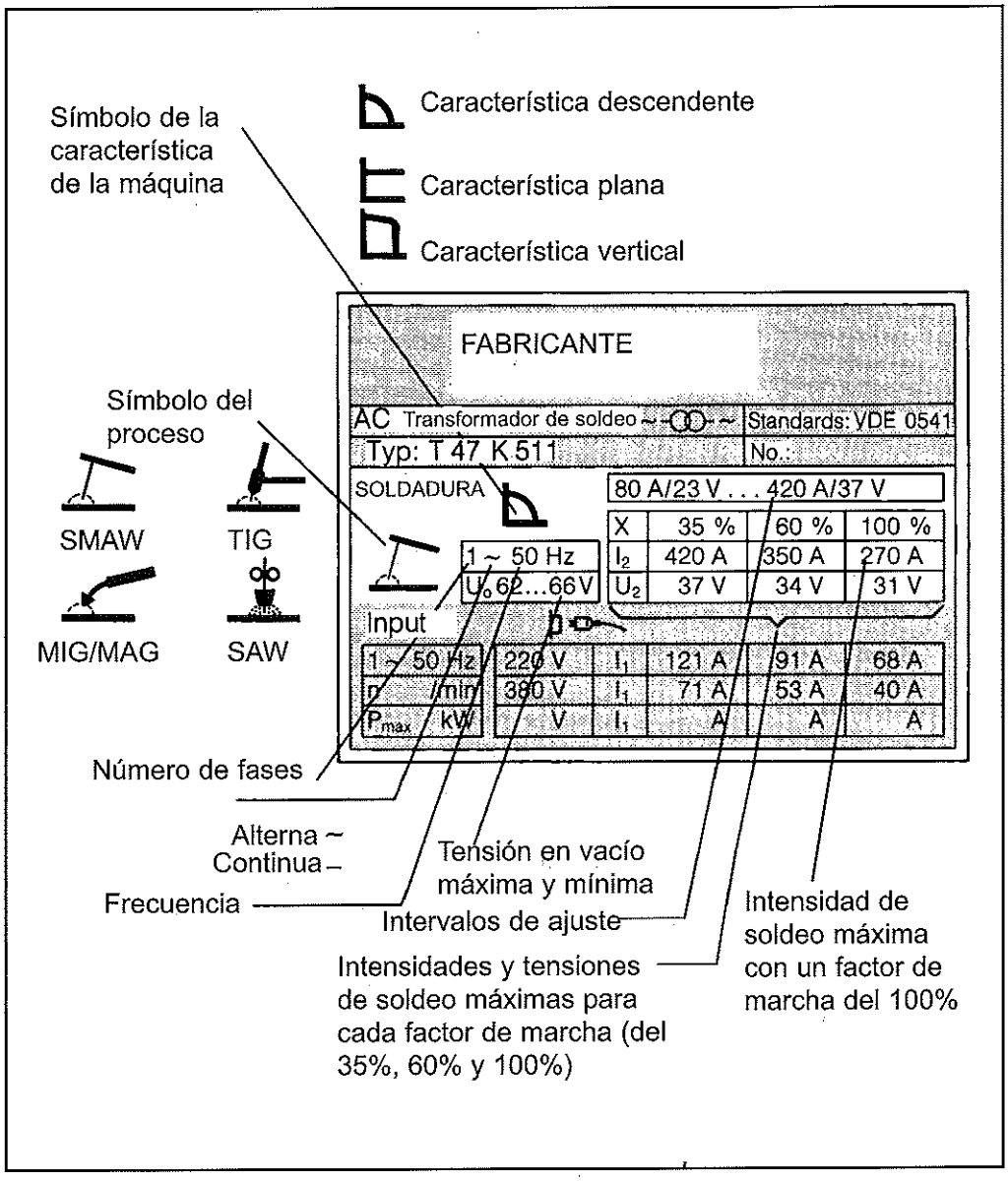

Símbolo de la característica de la máquina
Característica descendente
Característica plana
Característica vertical
FABRICANTE
AC Transformador de soldeo
Standards: VDE 0541
Typ: T 47 K 511
No.:
SOLDADURA
80 A/23 V . . . 420 A/37 V
X 35 % 60 % 100 %
I2 420 A 350 A 270 A
U2 37 V 34 V 31 V
1 ~ 50 Hz
U0 62...66 V
Input
1 ~ 50 Hz 220 V I1 121 A 91 A 68 A
n /min 380 V I1 71 A 53 A 40 A
Pmax kW V I1 A A A
Símbolo del proceso
SMAW
TIG
MIG/MAG
SAW
Número de fases
Alterna ~
Continua –
Frecuencia
Tensión en vacío máxima y mínima
Intervalos de ajuste
Intensidades y tensiones de soldeo máximas para cada factor de marcha (del 35%, 60% y 100%)
Intensidad de soldeo máxima con un factor de marcha del 100%

FIGURA 4.21: PLACA DE CARACTERÍSTICAS - DATOS DE REFERENCIA PARA EL SOLDEO

Capítulo 5

Uniones Soldadas y Técnicas de Soldeo

INDICE

5.1. Tipos de uniones 69

5.2. Tipos de soldaduras 70

5.3. Tipos de preparación de soldaduras 73

5.3.1. Términos utilizados en la preparación de las soldaduras 74

5.4. Terminología 76

5.4.1. Términos asociados a las soldaduras en ángulo 76

5.4.2. Cara y raíz de una soldadura 77

5.4.3. Número de pasadas 78

5.4.4. Penetración de una soldadura 78

5.4.5. Soldaduras por el reverso, soldadura con respaldo y soldadura de respaldo 79

5.4.6. Velocidad de soldeo 80

5.4.7. Extensión del electrodo, extremo libre del electrodo y longitud del arco 81

5.5. Posiciones de soldeo 82

5.5.1. Preparación de las piezas y parámetros a utilizar en función de la posición 85

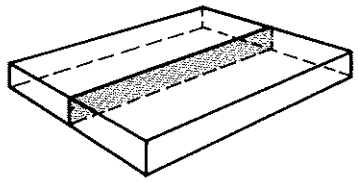
5.6. Técnicas de soldeo 86

5.6.1. Orientación del electrodo 86

5.6.2. Tipos de cordones de soldadura 89

5.1. Tipos de Uniones

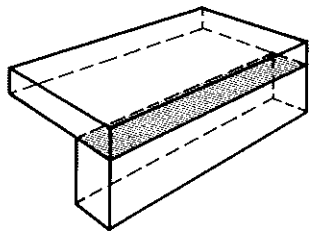
En la figura 5.1, se representan los cinco tipos de uniones.



(A) Unión a tope

Aplicable a soldaduras

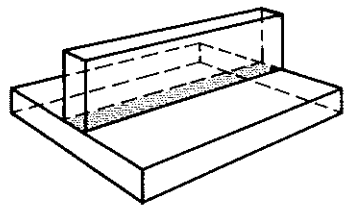
Con chaflán biselado
Con chaflán en bisel ensanchado
Con chaflán en J
Con chaflán en U
Con chaflán en V
Con chaflán en V ensanchada
Con chaflán plano
De borde en canto
Fuertes



(B) Unión en esquina

Aplicable a soldaduras

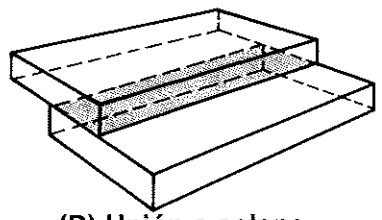
Con chaflán biselado
Con chaflán en bisel ensanchado
Con chaflán en J
Con chaflán en U
Con chaflán en V
Con chaflán en V ensanchada
Con chaflán plano
De tapón
En ángulo
En ojal
Fuertes
Por costura
Por protuberancias
Por puntos



(C) Unión en T

Aplicable a soldaduras

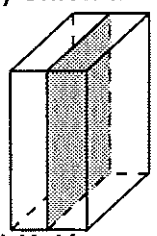
Con chaflán biselado
Con chaflán en bisel ensanchado
Con chaflán en J
Con chaflán plano
De tapón
En ángulo
En ojal
Fuertes
Por costura
Por protuberancias
Por puntos



(D) Unión a solape

Aplicable a soldaduras

Con chaflán biselado
Con chaflán en bisel ensanchado
Con chaflán en J
De tapón
En ángulo
En ojal
Fuertes
Por costura
Por protuberancias
Por puntos



(E) Unión en canto

Aplicable a soldaduras

Con chaflán biselado
Con chaflán en bisel ensanchado
Con chaflán en J
Con chaflán en U
Con chaflán en V
Con chaflán en V ensanchada
Con chaflán plano
De canto
Por costura

FIGURA 5.1: TIPOS DE UNIONES

5.2. Tipos de Soldaduras

Se describirán a continuación los tipos de soldaduras más utilizados (ver tabla 5.1).

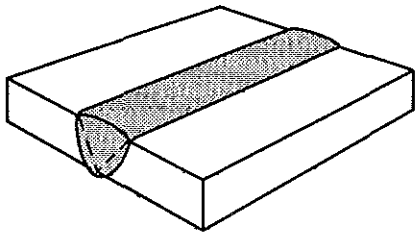
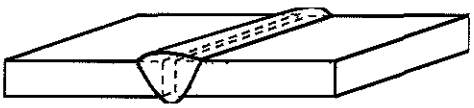
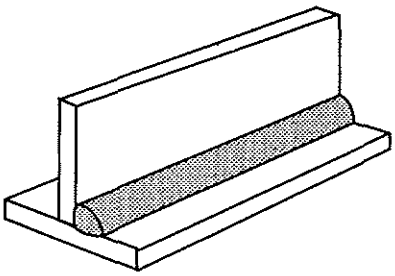
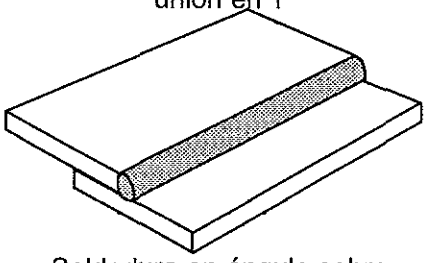
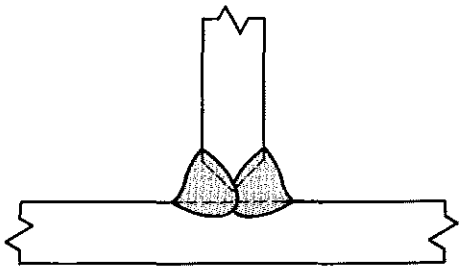
Soldaduras a tope	
 Soldadura con chaflán en V	Son las realizadas sobre uniones a tope, independientemente de la forma del chaflán, que podrá ser plano, en bisel, en V ....
 Soldadura con chaflán plano	
Soldaduras en ángulo	
 Soldadura en ángulo sobre unión en T	Son las que unen dos superficies que forman entre sí un ángulo aproximadamente recto en una unión en T, a solape o en esquina. Los cantos de las piezas a unir son planos.
 Soldadura en ángulo sobre unión a solape	

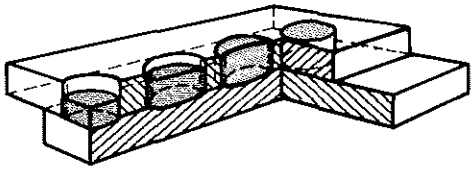
TABLA 5.1: DIFERENTES TIPOS DE SOLDADURAS

Soldadura en ángulo con chaflán

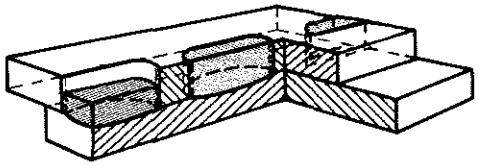


Una de las piezas sobre las que se realiza la soldadura tiene los bordes preparados, de esta forma se facilita la penetración.

Soldaduras de tapón y en ojal



Soldaduras de tapón

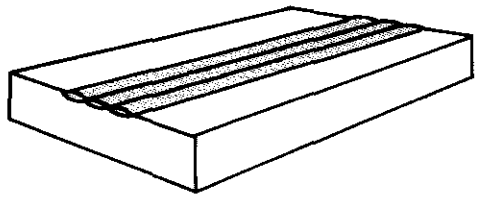


Soldaduras en ojal

Las soldaduras de tapón y en ojal son similares en diseño pero diferentes en forma. En ambos casos se realiza un taladro en una de las piezas a unir.

Estas uniones no se deben confundir con las soldaduras en ángulo en un agujero.

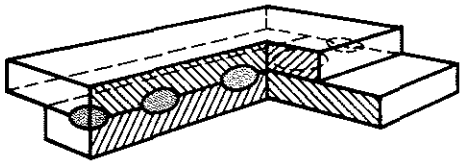
Soldaduras de recargue



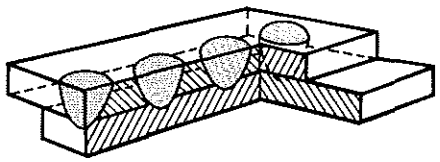
Soldadura efectuada sobre una superficie, en contra posición a la realizada en una unión, para obtener unas dimensiones o propiedades deseadas (en general, aumentar la resistencia al desgaste o a la corrosión).

TABLA 5.1 (CONTINUACIÓN): DIFERENTES TIPOS DE SOLDADURAS

Soldaduras por puntos



Soldaduras por puntos por resistencia

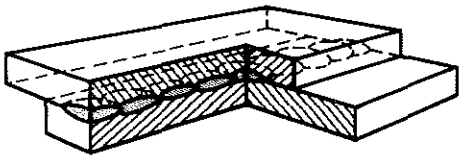


Soldaduras por puntos por arco

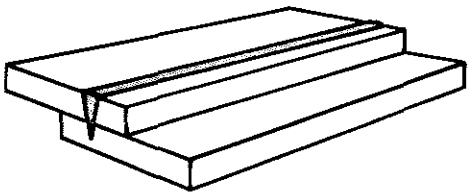
Soldadura efectuada en piezas solapadas y cuya forma es aproximadamente circular.

Se pueden realizar en la intercara entre las dos piezas mediante soldeo por resistencia (ver capítulo 16), o mediante un proceso capaz de producir la fusión de ambas piezas a través de una de ellas; normalmente mediante soldeo por haz de electrones o soldeo por arco (plasma, MIG/MAG o TIG). (Ver capítulo 13).

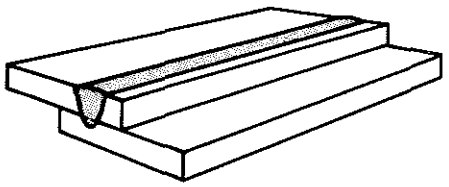
Soldaduras de costuras



Soldaduras de costuras por resistencia



Soldaduras de costura por haz de electrones



Soldaduras de costura por arco

Soldadura continua efectuada en piezas solapadas.

Se puede realizar entre las superficies de contacto mediante soldeo por resistencia, o mediante un proceso capaz de fundir ambas piezas a través de una de ellas, normalmente mediante soldeo por haz de electrones o soldeo por arco (plasma, MIG/MAG o TIG). (Ver capítulo 13).

TABLA 5.1 (CONTINUACIÓN): DIFERENTES TIPOS DE SOLDADURAS

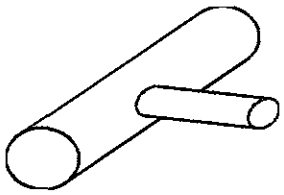
Ramificaciones de tuberías


TABLA 5.1 (CONTINUACIÓN): DIFERENTES TIPOS DE SOLDADURAS

5.3. Tipos de Preparación de Soldaduras

El chaflán de una soldadura es la abertura entre las dos piezas a soldar que facilita el espacio para contener la soldadura. Este chaflán podrá tener diversas geometrías dependiendo de los espesores de las piezas, el proceso de soldeo y la aplicación de la soldadura.

En la tabla 5.2 se indican las geometrías más usuales con sus denominaciones.

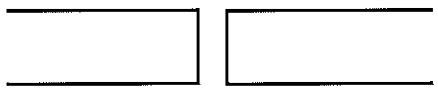
Chaflán plano simple 	
Chaflán en bisel simple o en Y	Chaflán en V simple
Chaflán en bisel doble o en K	Chaflán en V doble

TABLA 5.2: FORMAS DEL CANTO DE LAS PIEZAS

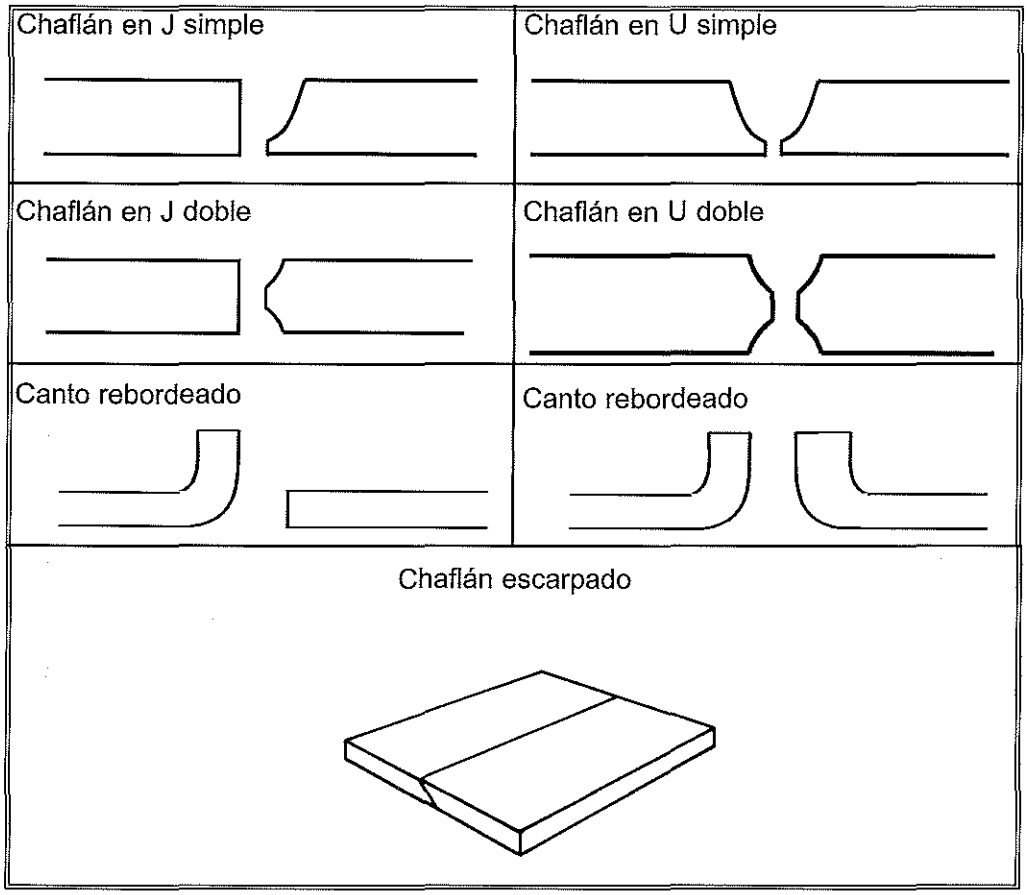


TABLA 5.2 (CONTINUACIÓN): FORMAS DEL CANTO DE LAS PIEZAS

Los chaflanes en U, en U doble, en J y en J doble se utilizan en lugar de chaflanes en V, en V doble, en bisel simple y en bisel doble en las piezas de gran espesor con objeto de ahorrar material de aportación, al mismo tiempo se reducen el aporte térmico y las deformaciones.

5.3.1. Términos utilizados en la preparación de las soldaduras

En la figura 5.2 se indican las denominaciones de todas las dimensiones necesarias para definir correctamente el chaflán de las piezas que se van a soldar.

En cualquier unión será importante mantener los bordes de las piezas alineadas. El desalineamiento de una unión se ha representado en la figura 5.3.

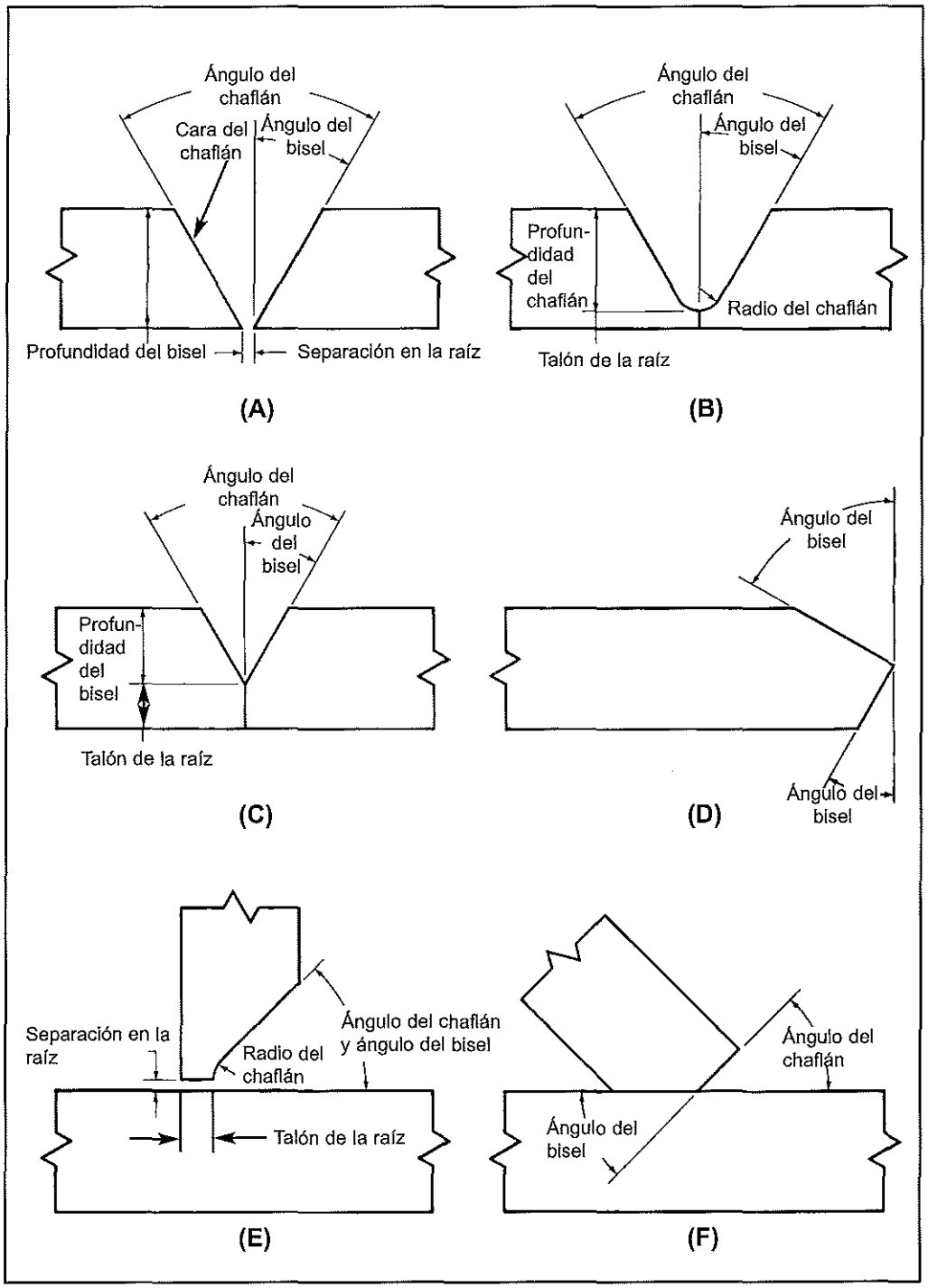


FIGURA 5.2: GEOMETRÍA DEL CHAFLÁN DE UNA SOLDADURA

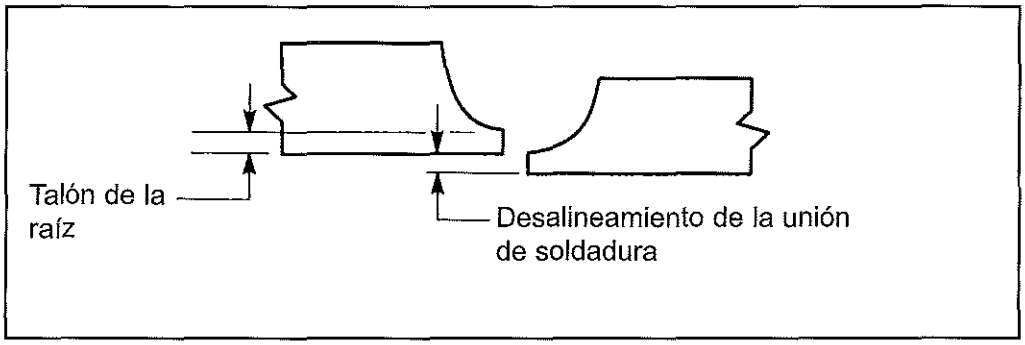


FIGURA 5.3: DESALINEAMIENTO DE LA UNIÓN DE SOLDADURA

5.4. Terminología

5.4.1. Términos asociados a las soldaduras en ángulo

En la figura 5.4 se representan las dimensiones más importantes de una soldadura en ángulo.

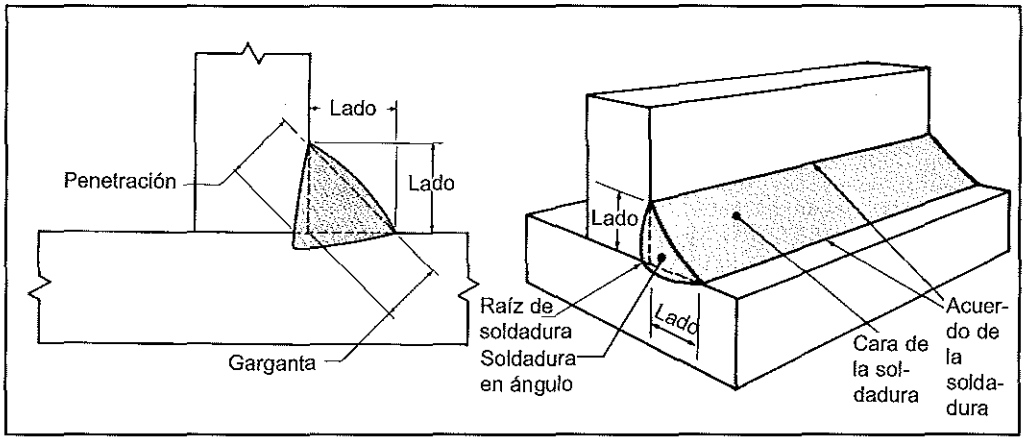


FIGURA 5.4: TERMINOLOGÍA DE LAS SOLDADURAS EN ÁNGULO

Una soldadura en ángulo estará definida por su garganta o por su lado, se debe tener en cuenta que ambas dimensiones están relacionadas:

$$z = \sqrt{2} \cdot a$$

siendo a = garganta y z = lado

Las soldaduras en ángulo intermitentes pueden ser enfrentadas [figura 5.5 (A)] o alternadas [figura 5.5 (B)]. En la soldadura en ángulo intermitente enfrentada de la figura se han indicado los nombres de las dimensiones más comunes en las soldaduras en ángulo intermitentes.

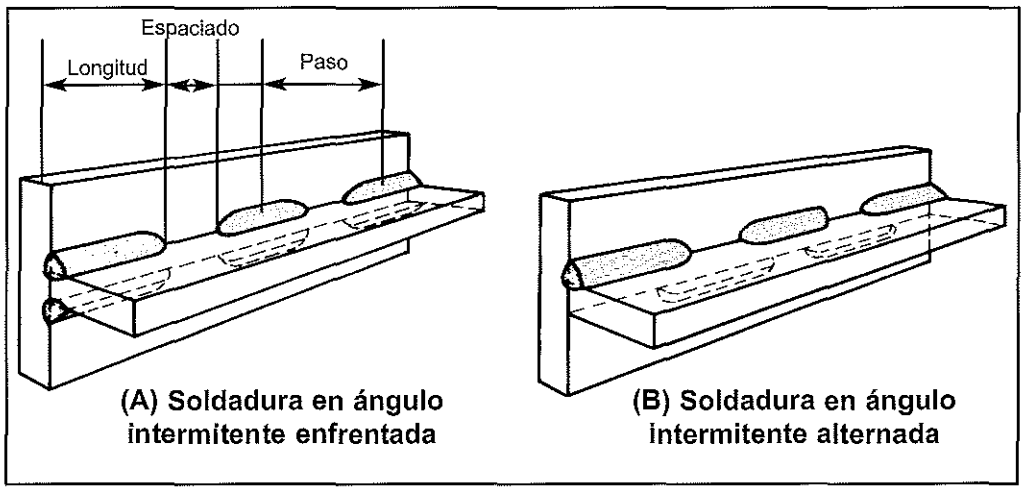


FIGURA 5.5: SOLDADURAS EN ÁNGULO INTERMITENTES

5.4.2. Cara y raíz de una soldadura

La figura 5.6 representa la cara y la raíz de una soldadura junto con el sobreespesor en la cara y en la raíz.

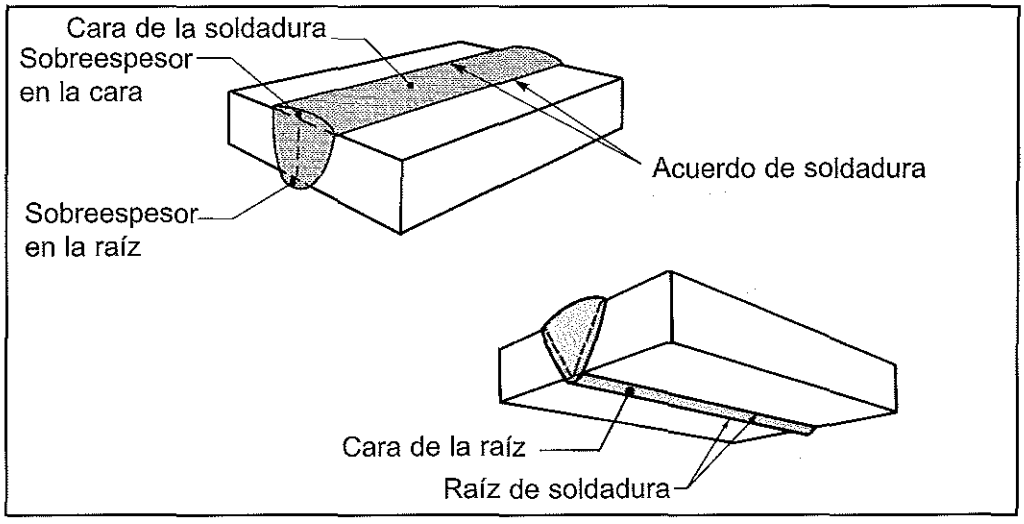


FIGURA 5.6: CARA Y RAÍZ DE UNA SOLDADURA

5.4.3. Número de pasadas

El número de pasadas es el nº de veces que se ha tenido que recorrer longitudinalmente la unión hasta completarla. Como resultado de cada pasada se obtiene un cordón de soldadura [ver figuras 5.7 (A) y (B)].

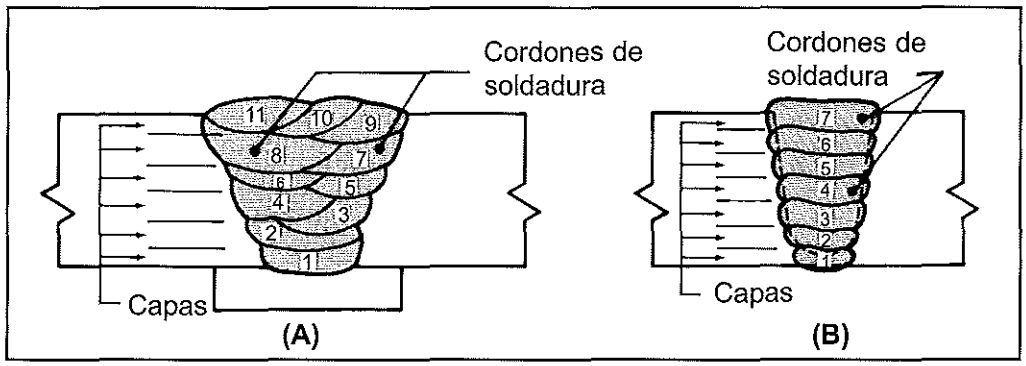


FIGURA 5.7: CORDONES DE SOLDADURA Y CAPAS DE SOLDADURA
(A) Nº DE CORDONES = 11; Nº DE CAPAS = 6
(B) Nº DE CORDONES = 7; Nº DE CAPAS = 7

5.4.4. Penetración de una soldadura

Una soldadura se puede realizar con penetración completa (ver figura 5.8) o con penetración parcial (ver figura 5.9).

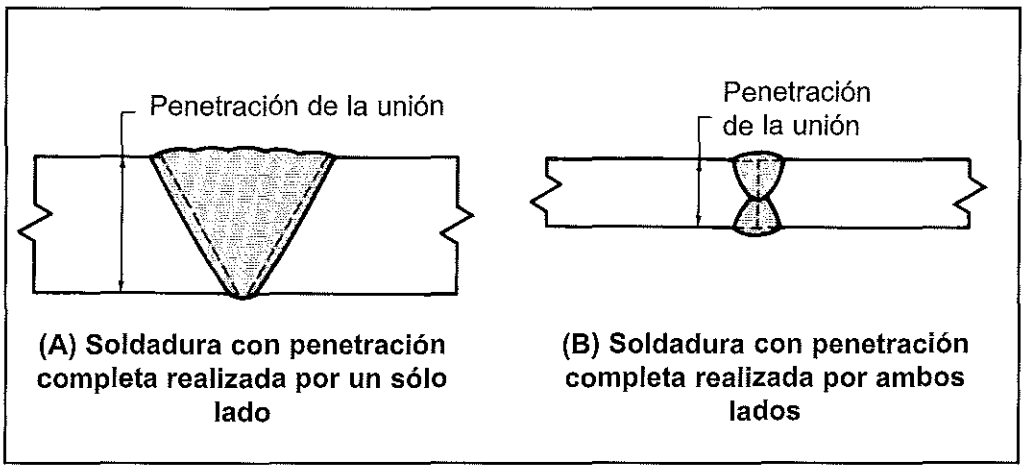

Penetración de la unión
Penetración de la unión
(A) Soldadura con penetración completa realizada por un sólo lado
(B) Soldadura con penetración completa realizada por ambos lados

FIGURA 5.8: SOLDADURAS CON PENETRACIÓN COMPLETA

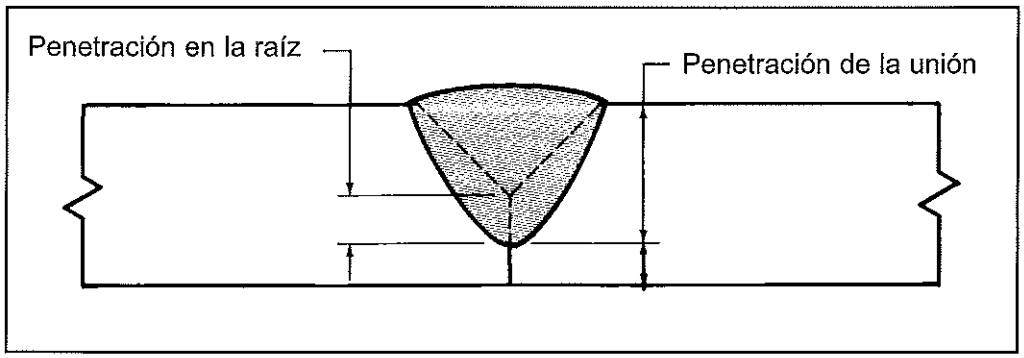


FIGURA 5.9: SOLDADURA CON PENETRACIÓN PARCIAL

5.4.5. Soldaduras por el reverso, soldadura con respaldo y soldadura de respaldo

Soldadura por el reverso

Es una soldadura efectuada por el lado de la raíz de la soldadura ya realizada (ver figura 5.10). Se suele realizar un resanado, o al menos una limpieza, antes de depositar la soldadura por el reverso.

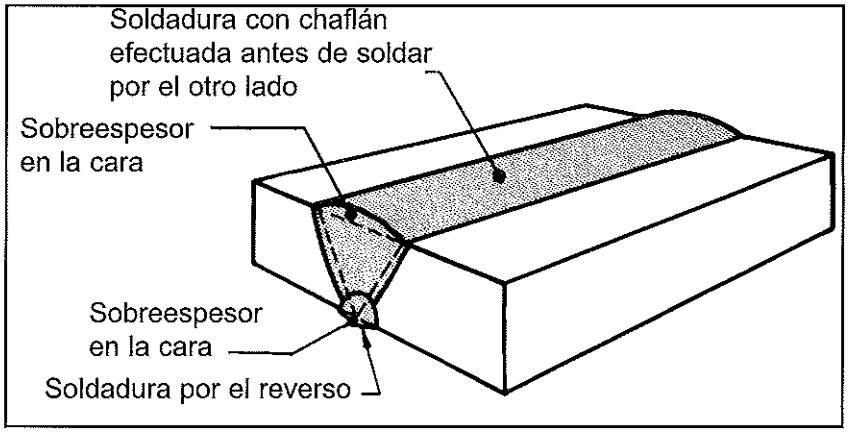


FIGURA 5.10: SOLDADURA POR EL REVERSO

Soldadura con respaldo

En algunas ocasiones se utiliza un respaldo para realizar una soldadura. Un respaldo es un material o dispositivo que se coloca por la parte posterior de la unión para soportar y retener el metal de soldadura fundido (ver figura 5.11). Este material puede ser metálico o no y puede fundirse parcialmente o no durante el soldeo. En el caso de fundirse parcialmente durante el soldeo el respaldo será permanente (no se retirará después del soldeo).

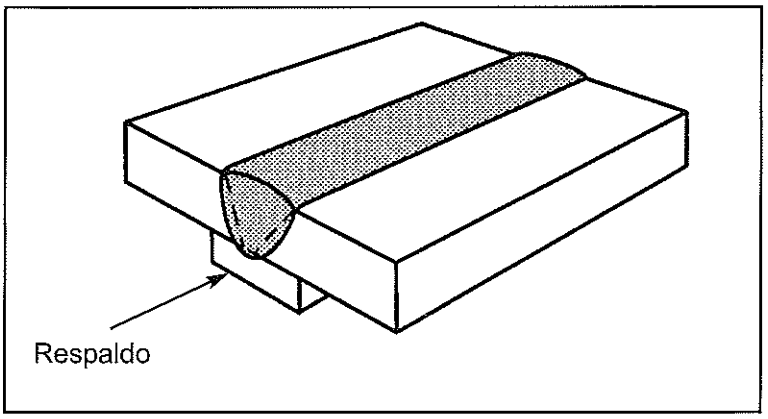


FIGURA 5.11: SOLDADURA CON RESPALDO

Soldadura de respaldo

En el caso de utilizar un cordón de soldadura como respaldo se denominará soldadura de respaldo (ver figura 5.12).

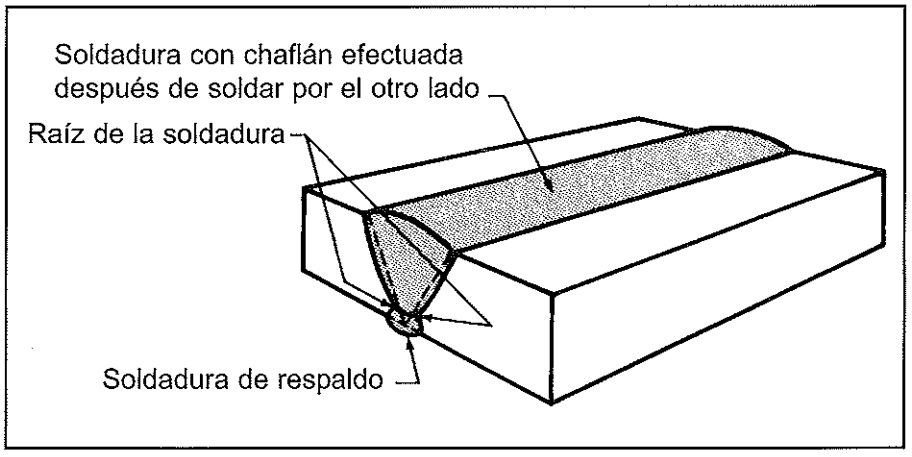


FIGURA 5.12: SOLDADURA DE RESPALDO

5.4.6. Velocidad de soldeo

La velocidad de soldeo es la longitud del cordón depositado en la unidad de tiempo. Normalmente se mide en cm/min, en m/s o en pulgadas/min. Por tanto, es la velocidad con la que se avanza a lo largo de la unión.

5.4.7. Extensión del electrodo, extremo libre del electrodo y longitud del arco

Extensión del electrodo

La extensión del electrodo es un parámetro importante en el soldeo MIG/MAG, FCAW y SAW. Se define como la longitud de electrodo no fundida a partir del extremo de la tobera de gas (ver figura 5.13).

En general, cuanto mayor es la extensión del electrodo para una intensidad dada mayor es la tasa de deposición y menor la penetración.

Extremo libre del electrodo

Es la longitud de electrodo no fundida a partir del extremo del tubo de contacto (ver figura 5.13).

Longitud del arco

Distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza (ver figura 5.13).

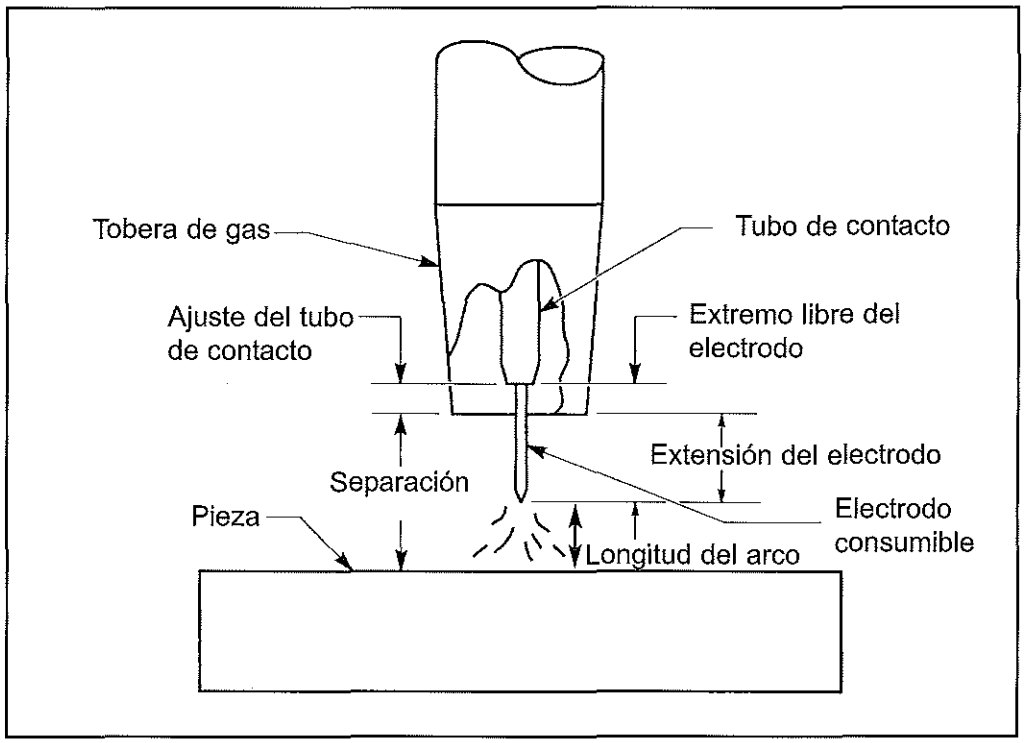


FIGURA 5.13: NOMENCLATURA DE LA PISTOLA PARA SOLDEO POR ARCO CON GAS

5.5. Posiciones del Soldeo

La designación de las posiciones de soldeo están normalizadas. Las designaciones más utilizadas son las ASME y las EN.

La designación ASME distingue entre soldaduras en ángulo, designándolas con una F, y soldaduras a tope, a las que se designa con una G. La normativa europea no hace esta distinción, por lo que habrá que indicarlo de alguna otra forma. En la tabla 5.3 se representan las posiciones de soldeo y su designación; en la figura 5.14 se ha representado la correlación entre la posición del consumible, o la fuente de calor, respecto a la unión a soldar y la designación de las posiciones según EN.

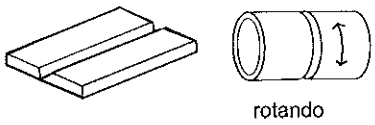
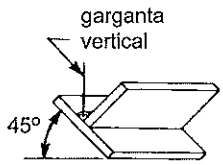
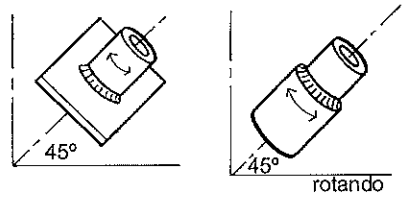
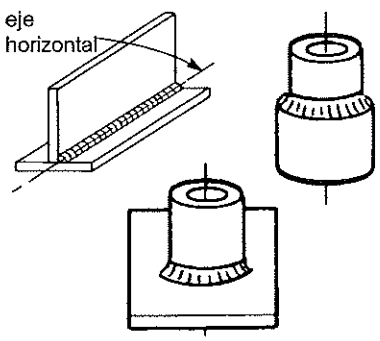
Posición de la unión	Designación		
	EN	ASME	COMÚN
	PA	1G	Plana
	PA	1F	Plana Acunada
	PA	1FR	Plana Acunada
	PB	2F	En ángulo

TABLA 5.3: POSICIONES DE SOLDEO

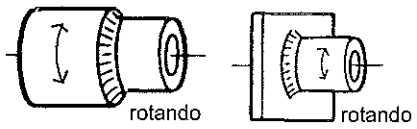
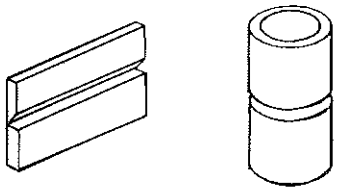
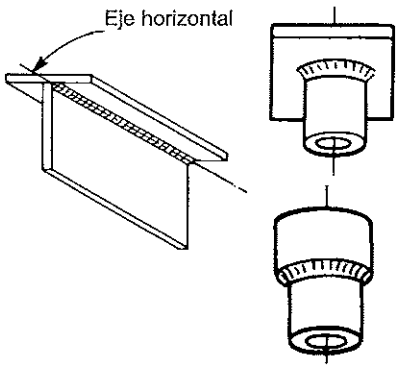
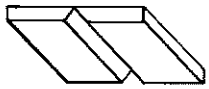
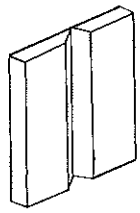
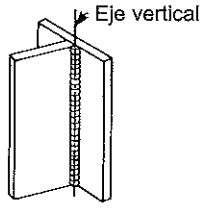
Posición de la unión	Designación		
	EN	ASME	COMÚN
	PB	2FR	Cornisa Horizontal-Vertical
	PC	2G	Cornisa Horizontal-Vertical
	PD	4F	Bajo techo
	PE	4G	Bajo techo
	PF PG	3G ascendente 3G descendente	Vertical ascendente o descendente
	PF PG	3F ascendente 3F descendente	Vertical ascendente o descendente

TABLA 5.3 (CONTINUACIÓN): POSICIONES DE SOLDEO

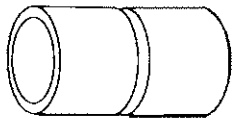
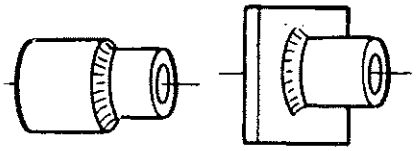
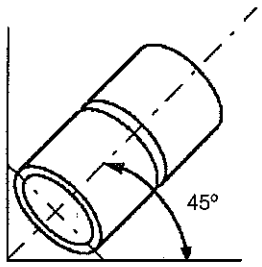
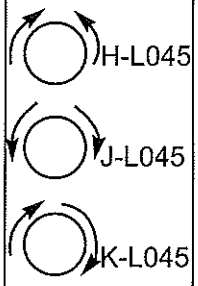
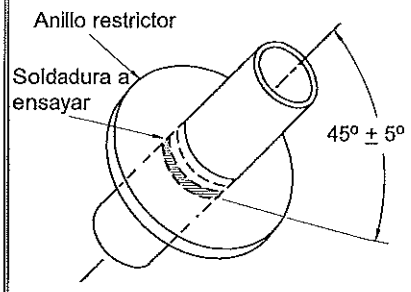
Posición de la unión	Designación		
	EN	ASME	COMÚN
 Tuberías fijas	PF PG	5G ascendente 5G descendente	Múltiple ascendente o descendente
 Tuberías fijas Tuberías fijas	PF PG	5F ascendente 5F descendente	Múltiple ascendente o descendente
		6G	Múltiple
6G con anillo 		6GR	Múltiple con anillo de restricción

TABLA 5.3 (CONTINUACIÓN): POSICIONES DE SOLDEO

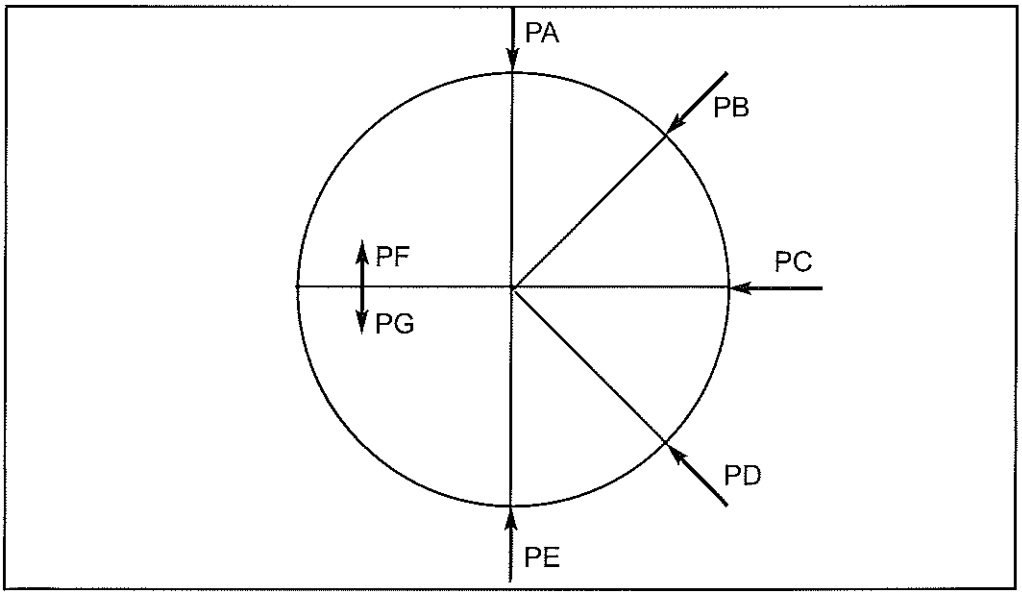


FIGURA 5.14: CORRELACIÓN ENTRE LA POSICIÓN DEL CONSUMIBLE, O DE LA FUENTE DE CALOR, RESPECTO A LA UNIÓN A SOLDAR INDICADA POR LA DIRECCIÓN DE LAS FLECHAS Y LAS DESIGNACIONES DE LAS POSICIONES DE SOLDEO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA (EN)

5.5.1. Preparación de las piezas y parámetros a utilizar en función de la posición

La preparación de las piezas antes del soldeo es una tarea de gran importancia. Para conseguir uniones sanas se deberá elegir la preparación en función, entre otras cosas, de la posición de soldeo. Así cuando se suelda en cornisa el ángulo de ambos biseles deberá ser diferente para reducir el descuelgue de material de soldadura (ver figura 5.15).

En el soldeo bajo techo se deberá reducir un poco el ángulo del chaflán y reducir, o incluso eliminar, el talón de la raíz para facilitar una penetración adecuada. Sin embargo, en el soldeo en posición plana el talón no deberá ser muy pequeño, impidiendo de esta forma que la penetración en la raíz sea excesiva.

También los parámetros de soldeo deberán ser función de la posición y tipo de unión; en general, se utilizará un 10% menos de intensidad (o voltaje) en la posición bajo techo y un 5% menos en vertical ascendente, respecto a la intensidad (o voltaje) utilizada en plano. También se deberán utilizar intensidades (o voltajes) mayores en las soldaduras en ángulo frente a las soldaduras a tope.

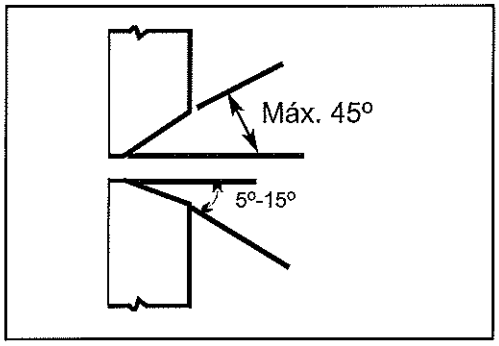


FIGURA 5.15: PREPARACIÓN DE PIEZAS PARA SOLDEO EN CORNISA

5.6. Técnicas de Soldeo

5.6.1. Orientación del electrodo

La orientación del electrodo respecto a la pieza y respecto al cordón de soldadura es un parámetro importante para conseguir soldaduras de calidad. Una orientación inadecuada puede llevar a la consecución de numerosos defectos (falta de fusión, porosidad, inclusiones de escoria, etc).

La orientación del electrodo se definirá mediante dos ángulos (las siguientes figuras son aplicables a todos los procesos de soldeo, no sólo al proceso MIG/MAG representado):

- Ángulo de trabajo (ver figura 5.16): En general un ángulo de trabajo muy pequeño favorece la formación de mordeduras, mientras que un ángulo de trabajo grande puede ser causa de falta de fusión.

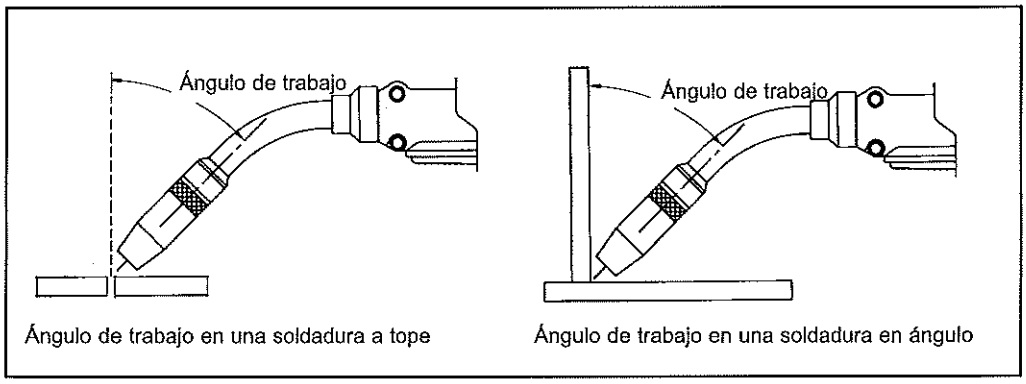

Ángulo de trabajo
Ángulo de trabajo
Ángulo de trabajo en una soldadura a tope
Ángulo de trabajo en una soldadura en ángulo

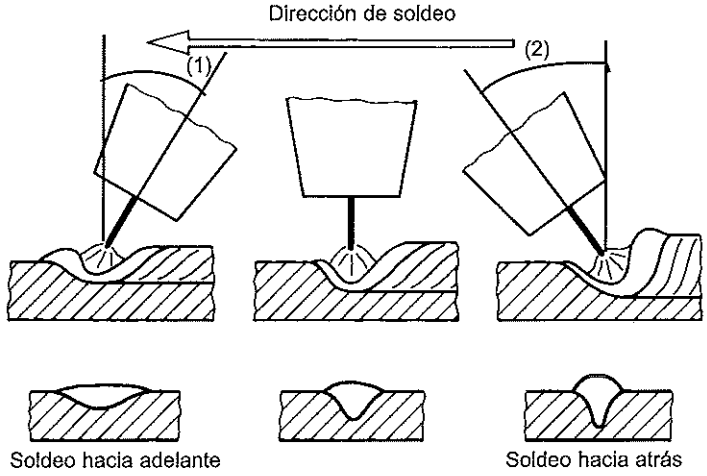
FIGURA 5.16: ÁNGULO DE TRABAJO

- Ángulo de desplazamiento: Es el ángulo comprendido entre el eje del electrodo y una línea perpendicular al eje de la soldadura (ver figura 5.17).

Soldeo hacia adelante y hacia atrás

El soldeo hacia adelante es la técnica de soldeo en la cual el electrodo, soplete o la pistola se dirige en el mismo sentido que el avance de soldeo (ver figura 5.17 y 5.18). En este caso el ángulo de desplazamiento se denomina ángulo de retraso.

El soldeo hacia atrás es la técnica de soldeo en la cual el electrodo, soplete o la pistola de soldeo se dirige en sentido contrario al de avance del soldeo (ver figura 5.17 y 5.18). En este caso el ángulo de desplazamiento se denomina ángulo de adelanto.



(1) Ángulo de desplazamiento y ángulo de retraso en el soldeo hacia adelante.
(2) Ángulo de desplazamiento y ángulo de adelanto en el soldeo hacia atrás.

Posición de la pistola de soldeo:	No dirigida hacia el cordón	Perpendicular	Dirigida hacia el cordón de soldadura
Penetración:	Escasa	Media	Profunda
Estabilidad del arco:	Baja	Media	Buena
Proyecciones:	Muchas	Normal	Pocas
Anchura del cordón:	Más ancha	Media	Estrecha
Recomendada para posición:	Vertical ascendente		Todas las posiciones menos vertical ascendente

FIGURA 5.17: SOLDEO HACIA ATRÁS Y HACIA ADELANTE. ÁNGULO DE RETRASO Y DE ADELANTO

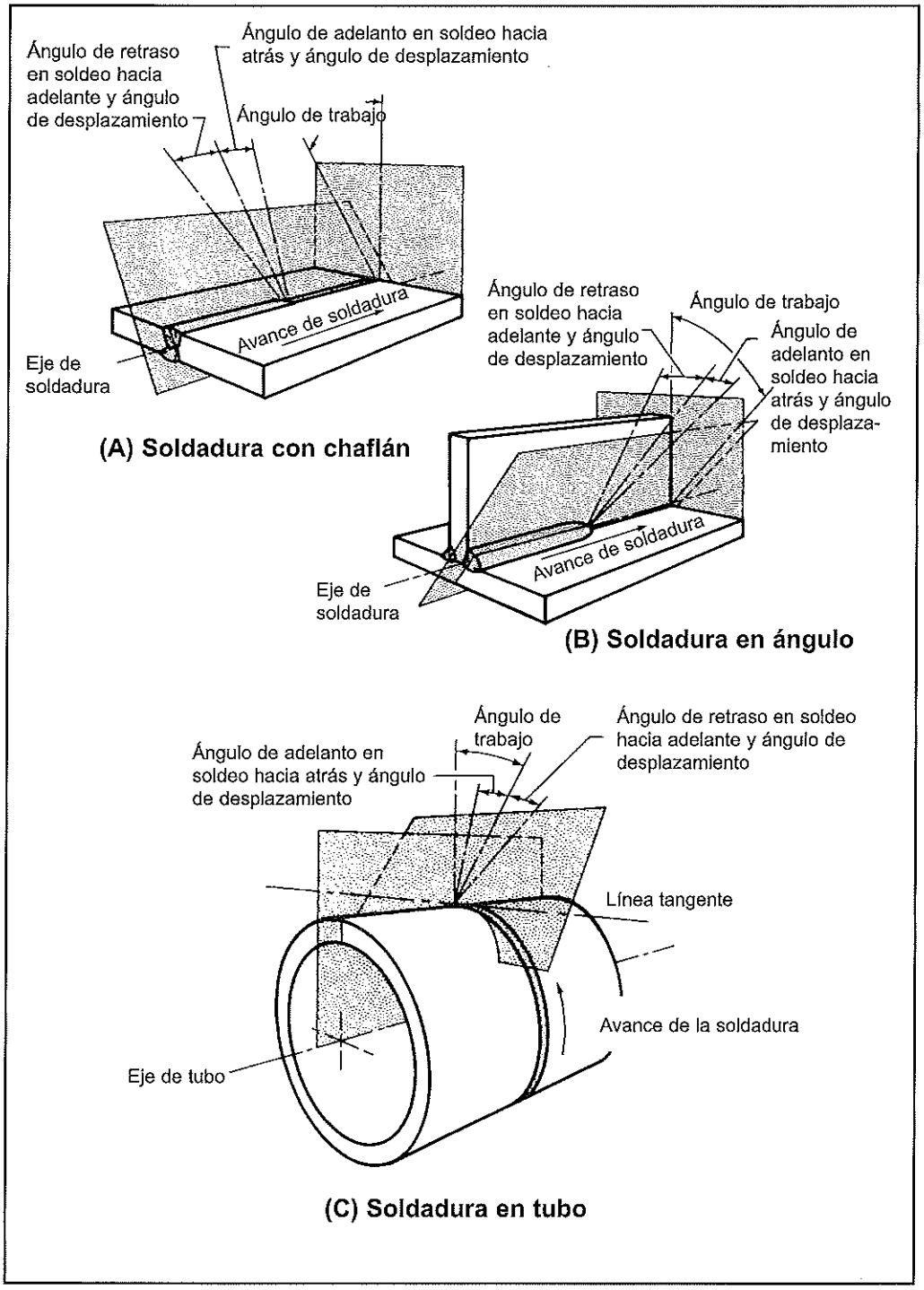
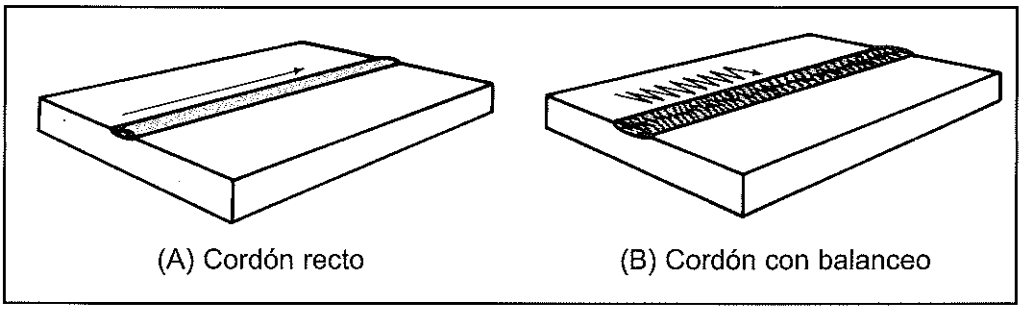

Ángulo de retraso en soldeo hacia adelante y ángulo de desplazamiento
Ángulo de adelanto en soldeo hacia atrás y ángulo de desplazamiento
Ángulo de trabajo
Avance de soldadura
Eje de soldadura
(A) Soldadura con chaflán
Ángulo de retraso en soldeo hacia adelante y ángulo de desplazamiento
Ángulo de trabajo
Ángulo de adelanto en soldeo hacia atrás y ángulo de desplaza-miento
Avance de soldadura
Eje de soldadura
(B) Soldadura en ángulo
Ángulo de trabajo
Ángulo de retraso en soldeo hacia adelante y ángulo de desplazamiento
Ángulo de adelanto en soldeo hacia atrás y ángulo de desplazamiento
Línea tangente
Avance de la soldadura
Eje de tubo
(C) Soldadura en tubo

FIGURA 5.18: POSICIÓN DEL ELECTRODO, PISTOLA, SOPLETE, VARILLA O HAZ

5.6.2. Tipos de cordones de soldadura

El aspecto y el nombre de un cordón de soldadura depende de la técnica utilizada por el soldador durante su ejecución. Si el soldador progresa a lo largo de la unión sin oscilar el electrodo en dirección transversal, el cordón de soldadura obtenido se denomina CORDÓN RECTO [ver figura 5.19 (A)].

Se obtendrá un cordón con balanceo, u oscilante, si el soldador mueve el electrodo lateralmente [ver figura 5.19 (B)].



Nota: Las flechas adyacentes a los cordones de soldadura indican el movimiento relativo del haz, electrodo o llama respecto a la pieza.

FIGURA 5.19: TIPOS DE CORDONES DE SOLDADURA

El cordón con balanceo será mayor que el recto y, por lo tanto, la velocidad de soldeo será menor cuando se realicen cordones con balanceo que con cordones rectos; por esta razón el calor aportado a las piezas es mayor cuando se realizan cordones oscilantes, pudiéndose impedir esta técnica en el soldeo de algunos materiales en los que no resulte beneficioso un aporte de calor excesivo.

Los movimientos que más normalmente se dan al electrodo son:

- Movimientos circulares, que se suelen utilizar en las pasadas de raíz cuando la separación es excesiva, o cuando no se pretende una penetración elevada.

- Movimientos en forma de zig-zag, normalmente utilizados donde se desee depositar cordones anchos que permitan el relleno rápido de las uniones (ver figura 5.20).

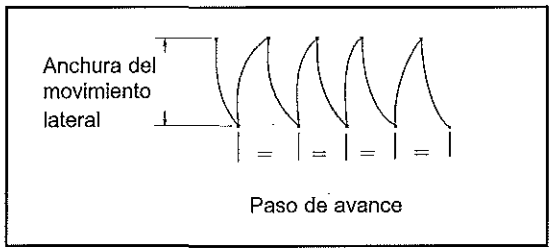


FIGURA 5.20: CORDÓN OSCILANTE

El espacio que se avanza en cada movimiento lateral para obtener un cordón de soldadura se denomina **paso de avance** (ver figura 5.20).

Para utilizar un paso adecuado se tendrá que tener en cuenta que:

- Un paso de avance largo, produce:
  - mayor velocidad de avance.
  - menor calor aportado
  - aguas muy espaciadas y cordón poco vistoso
- Un paso de avance corto, produce:
  - menor velocidad de avance
  - mayor calor aportado
  - aguas juntas y vistosas

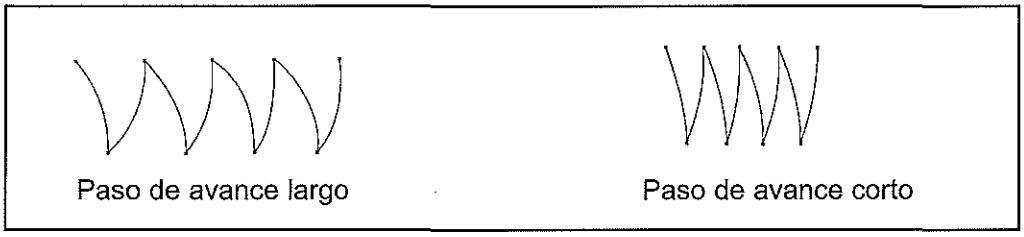


FIGURA 5.21: PASO DE AVANCE LARGO Y CORTO

La elección del paso, conveniente a la unión a soldar, se tendrá que determinar en función del calor que se pueda aportar a las piezas.

El paso de avance adecuado está en relación con la velocidad de movimiento lateral:

- Un movimiento lateral lento, requiere un paso de avance mayor.
- Un movimiento lateral rápido, requiere un paso de avance menor.

Capítulo 6 Simbolización de las Soldaduras

INDICE

6.1. Necesidad y ventajas de la simbolización 92

6.2. Simbolización según ANSI/AWS A2.4 y UNE-EN 22553 94

6.2.1. Constitución del símbolo de soldeo y significado de la situación del símbolo de soldadura 95

6.2.2. Símbolos de soldadura 98

6.2.3. Dimensiones de las soldaduras.....102

6.2.4. Ejemplos.....108

6.1. Necesidad y Ventajas de la Simbolización

El conocimiento, por parte de los soldadores, y de todo el personal involucrado en construcciones soldadas, de la forma de efectuar las soldaduras es de la mayor importancia para que éstas sean del tipo y dimensiones adecuadas al material a soldar y a las condiciones de servicio previstas. La información necesaria debe figurar en los planos o documentos de fabricación, de forma que su interpretación sea única. Una información del tipo expresado en la figura 6.1 (a) puede conducir a las interpretaciones que figuran en los croquis (b), (c) y (d) de la misma figura, lo cual, obviamente, supone que la misma unión pueda ser llevada a cabo de forma distinta por diferentes soldadores, cosa que en el contexto de la "buena práctica" de fabricación es inaceptable.

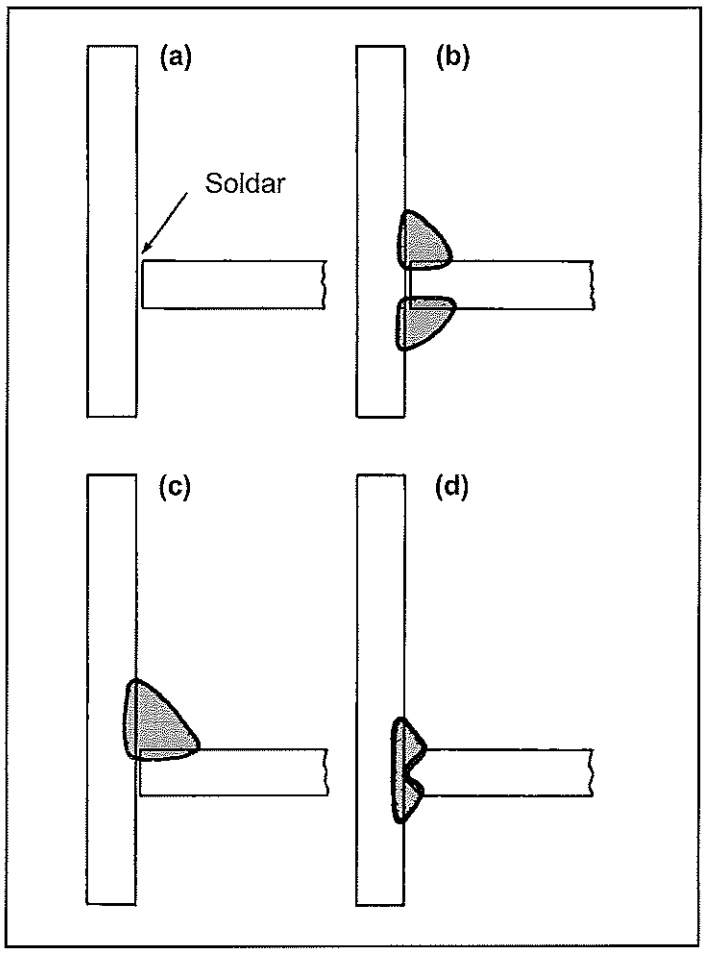


FIGURA 6.1: NECESIDAD DE LA SIMBOLIZACIÓN

Comparando las representaciones (a) y (b) de la figura 6.2, puede que parezca más "expresiva" la información en el croquis (a), pero las dificultades de esta manera de informar sobre preparaciones de bordes y soldaduras terminadas pueden ser insuperables en muchas ocasiones por problemas de escala gráfica y espesores, tal como se observa en el croquis (c) de la misma figura. Las ventajas de disponer de un sistema de simbolización, como el que figura en (b) y (d), que nos facilite toda la información necesaria para la correcta ejecución de la soldadura, son obvias.

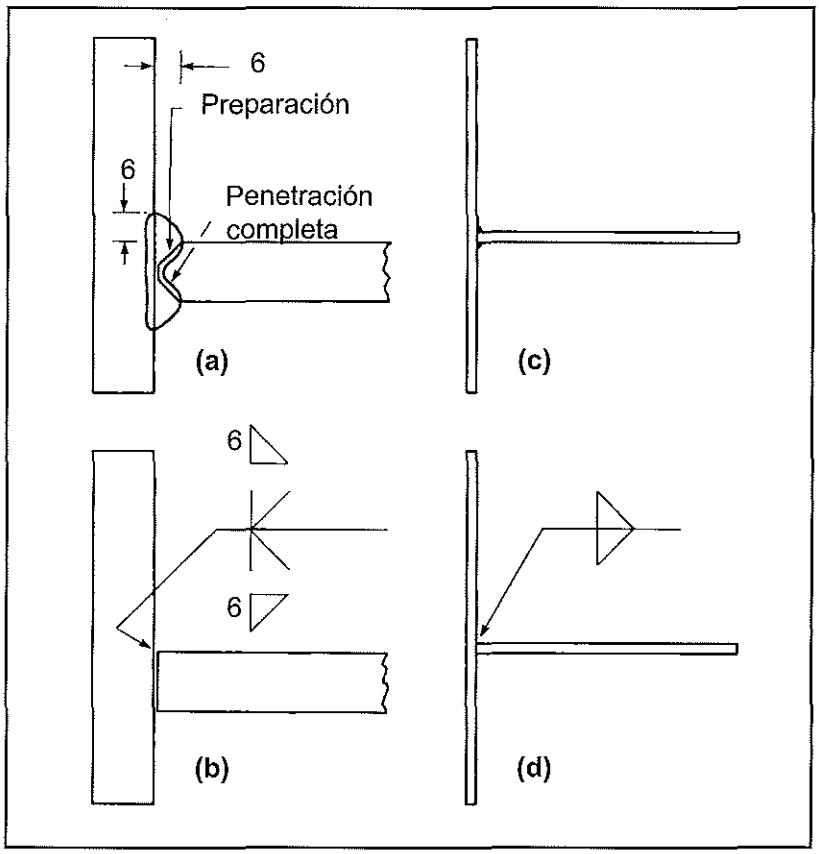


FIGURA 6.2: VENTAJAS DE UN SISTEMA DE SIMBOLIZACIÓN

Para representar una soldadura se señalará con una flecha una línea del plano que identifique la unión, la flecha conectará con una línea de referencia donde se sitúa el símbolo de soldadura y los símbolos suplementarios que indican la forma de preparar las piezas y el tipo de soldadura.

Se tiene que tener en cuenta que los símbolos indican la forma, las dimensiones, la situación y otros parámetros importantes de las soldaduras, sin embargo no se

indican otros datos como electrodo a utilizar o temperatura de precalentamiento, para lo que habrá que consultar el procedimiento de soldeo o las hojas de trabajo.

En este capítulo se van a describir los dos sistemas de simbolización que más se utilizan, el americano ANSI/AWS y el europeo UNE-EN.

6.2. Simbolización según ANSI/AWS A2.4 y UNE-EN 22553

Dada la similitud de ambas normativas se van a explicar conjuntamente, resaltando de esta forma sus diferencias y similitudes.

Las explicaciones que siguen corresponden a la edición de 1993, en el caso de la norma ANSI/AWS, y a la de 1995 en el caso de la norma UNE-EN. **Siempre se debe consultar la edición de la norma que sea aplicable a cada trabajo**, ver el apartado "Abreviaturas y Referencias" para conocer las entidades que publican y suministran las normas.

En la figura 6.3 se indica la disposición relativa de todos los elementos que pueden aparecer en un símbolo de soldeo según la norma ANSI/AWS.

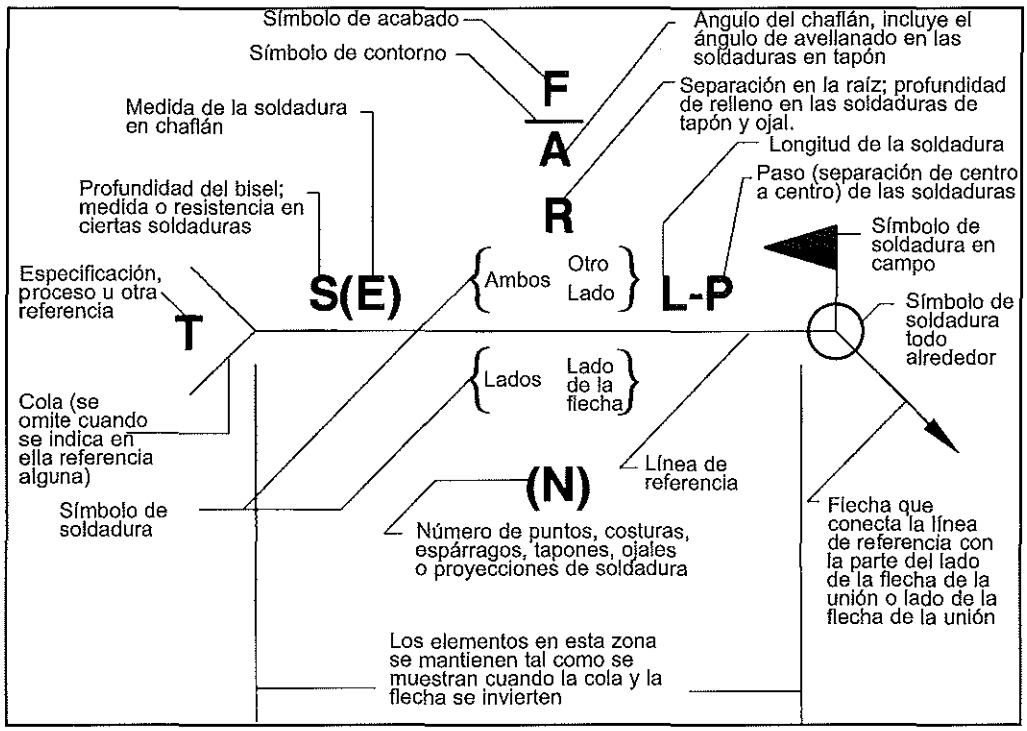

Símbolo de acabado
Símbolo de contorno
F
A
R
Ángulo del chaflán, incluye el ángulo de avellanado en las soldaduras en tapón
Separación en la raíz; profundidad de relleno en las soldaduras de tapón y ojal.
Longitud de la soldadura
Paso (separación de centro a centro) de las soldaduras
Medida de la soldadura en chaflán
Profundidad del bisel; medida o resistencia en ciertas soldaduras
Símbolo de soldadura en campo
Especificación, proceso u otra referencia
T
S(E)
Ambos
Otro Lado
L-P
Símbolo de soldadura todo alrededor
Lados
Lado de la flecha
Cola (se omite cuando se indica en ella referencia alguna)
Símbolo de soldadura
(N)
Línea de referencia
Número de puntos, costuras, espárragos, tapones, ojales o proyecciones de soldadura
Flecha que conecta la línea de referencia con la parte del lado de la flecha de la unión o lado de la flecha de la unión
Los elementos en esta zona se mantienen tal como se muestran cuando la cola y la flecha se invierten

FIGURA 6.3: SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SÍMBOLO DE SOLDEO (ANSI/AWS)

6.2.1. Constitución del símbolo de soldeo y significado de la situación del símbolo de soldadura

En la tabla 6.1 se indican los elementos que forman parte del símbolo de soldeo y en las tablas 6.2 y 6.3 el significado de la situación del símbolo de soldadura.

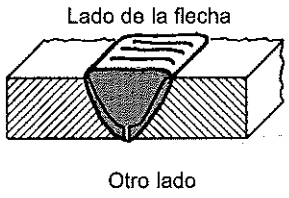
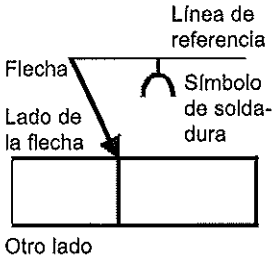
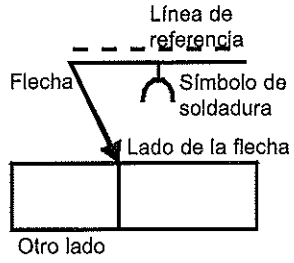
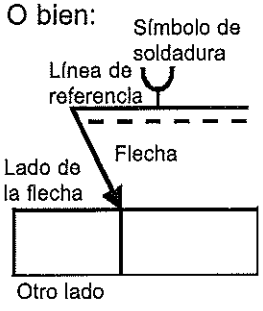
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	Constitución del símbolo de soldeo: - Una flecha por unión - Una línea de referencia única y continua. - Símbolos de soldadura, símbolos suplementarios, dimensiones y otros datos. 	Constitución del símbolo de soldeo. - Una flecha por unión. - Una doble línea de referencia formada por una línea continua y otra discontinua. La discontinua puede situarse encima o debajo de la continua. - Símbolos de soldadura, símbolos suplementarios, dimensiones y otros datos.  O bien: 

TABLA 6.1: CONSTITUCIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDEO

Nota: Cuando sea necesario, la línea de referencia tendrá una cola donde se indicarán datos suplementarios tales como proceso de soldeo u otros datos aclaratorios, ver figura 6.4.

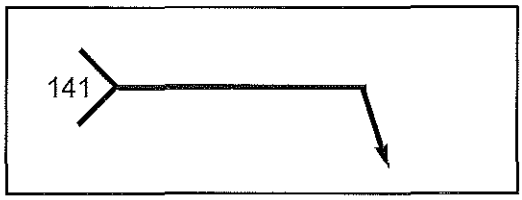


FIGURA 6.4: UTILIZACIÓN DE LA COLA DEL SÍMBOLO DE SOLDEO

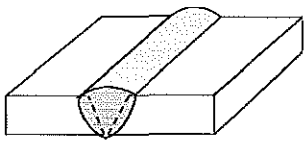
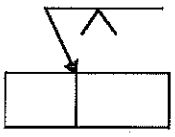
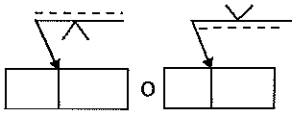
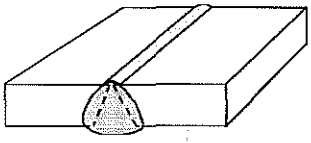
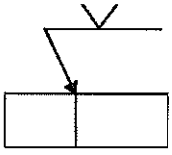
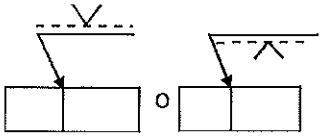
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	Si el símbolo de soldadura está por debajo de la línea de referencia la soldadura se realizará por el lado de la flecha. 	Si el símbolo de soldadura está sobre o bajo (tocando) la línea continua la soldadura se realizará por el lado de la flecha. 
	Si el símbolo de soldadura está por encima de la línea de referencia la soldadura se realizará por el otro lado. 	Si el símbolo de soldadura está sobre o bajo (tocando) la línea discontinua la soldadura se realizará por el otro lado. 

TABLA 6.2 (CONTINUACIÓN): SIGNIFICADO DE LA SITUACIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA EN SOLDADURAS CON CHAFLÁN

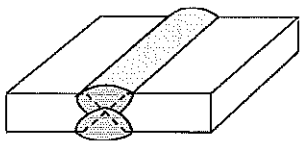
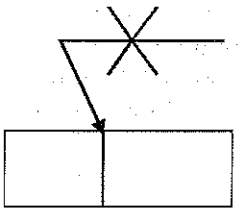
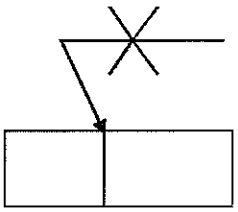
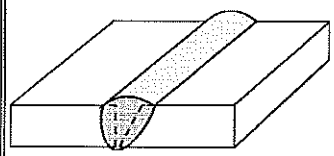
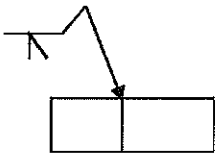
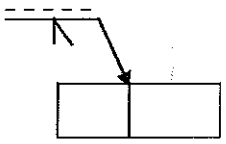
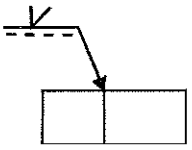
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	Si la soldadura se realiza por ambos lados se colocarán los símbolos de soldadura tanto por debajo como por encima de la línea de referencia. 	Si la soldadura se realiza por ambos lados no se utilizará la línea discontinua y se situarán los símbolos de soldadura tanto por debajo como por encima de la línea de referencia continua. La simbolización en este caso es igual que la de ANSI/AWS. 
	En el caso de que sólo se prepare una pieza, ésta se señalará con una flecha quebrada. 	En el caso de que sólo se prepare una pieza, ésta será la que señale la flecha.  O bien 

TABLA 6.2 (CONTINUACIÓN): SIGNIFICADO DE LA SITUACIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA EN SOLDADURAS CON CHAFLÁN

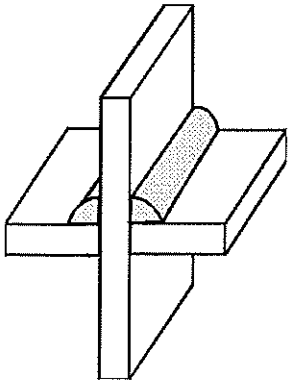
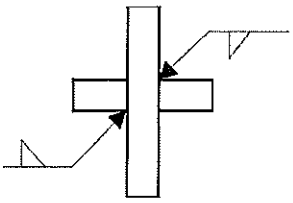
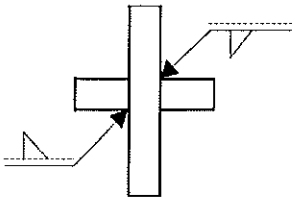
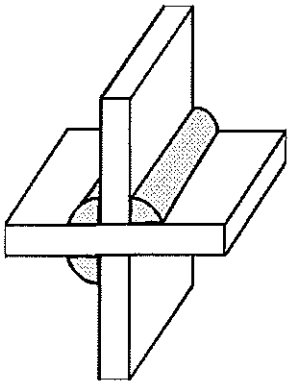
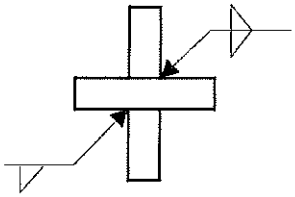
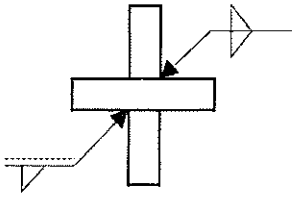
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	 Si las soldaduras se encuentran a ambos lados de la pieza que atraviesa la unión en cruz, se requieren dos símbolos de soldeo.	
		

TABLA 6.3: SIGNIFICADO DE LA POSICIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA EN LAS UNIONES EN ÁNGULO

6.2.2. Símbolos de soldadura

El tipo de soldadura a realizar se indica mediante el símbolo de soldadura. Los símbolos de soldadura en ambas normas, en general, son iguales.

En la tabla 6.4 se indican los símbolos de soldadura más comunes, no se da ningún significado a la posición del símbolo respecto a la línea de referencia.

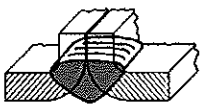
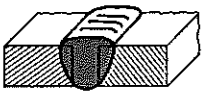
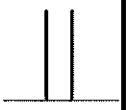
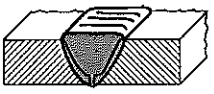
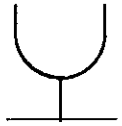
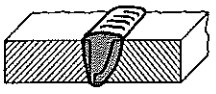
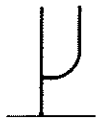
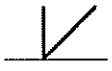
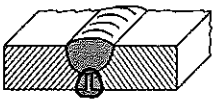
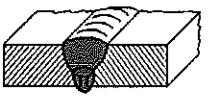
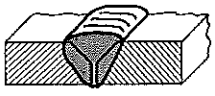
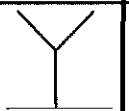
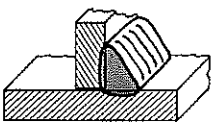
Denominación	Soldadura representada	Símbolo	Denominación	Soldadura representada	Símbolo
Soldadura de borde			Soldadura a tope con bisel simple y talón grande	Sólo en ANSI/AWS	Este símbolo no existe para ANSI/ AWS A2.4
Soldadura a tope con bisel plano			Soldadura a tope con chaflán en U simple		
Soldadura a tope con chaflán en V simple			Soldadura a tope con chaflán en J simple		
Soldadura a tope con bisel simple			Soldadura de reverso o soldadura de respaldo	 Soldadura de reverso  Soldadura de respaldo	
Soldadura a tope en V y talón grande		 Este símbolo no existe para ANSI/ AWS A2.4	Soldadura en ángulo		

TABLA 6.4 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS DE SOLDADURA

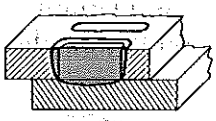
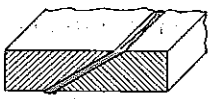
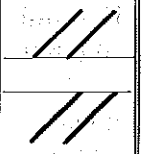
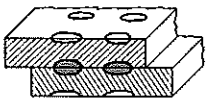
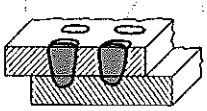
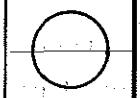
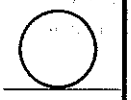
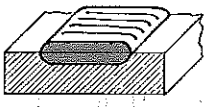
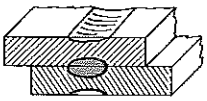
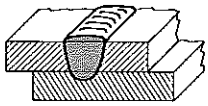
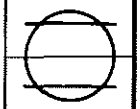
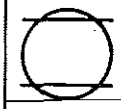
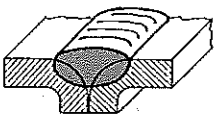
Denominación	Soldadura representada	Símbolo	Denominación	Soldadura representada	Símbolo
Soldadura de tapón o de ojal			Soldadura fuerte con chaflán escarpado	 Sólo en ANSI/AWS	
Soldadura por puntos	 Soldeo por resistencia (realizado por ambos lados de la unión)  Soldeo por TIG o por haz de electrones (realizado desde un lado)	 	Soldadura de recargue		
Soldadura por costura	 Soldeo por resistencia (realizado por ambos lados de la unión)  Soldeo por TIG o haz de electrones (realizado desde un lado)	 	Soldadura con chaflán en V ensanchada		

TABLA 6.4 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS DE SOLDADURA

Los símbolos suplementarios se indican en la tabla 6.5 y se emplean, según se necesiten, conjuntamente con los símbolos de soldeo.

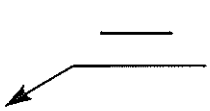
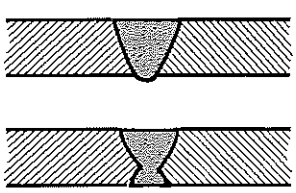
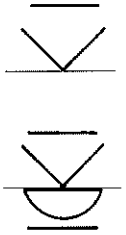
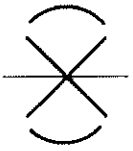
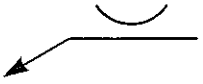
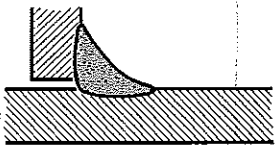
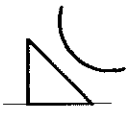
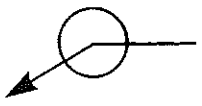
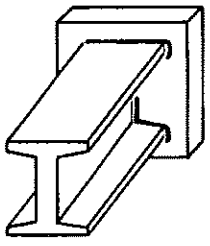
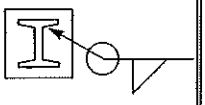
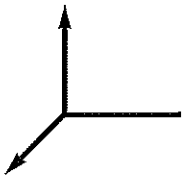
Denominación		Símbolo suplementario	Ejemplo	
			Soldadura representada	Símbolo
Símbolo suplementario de acabado superficial de soldadura	A paño o plano			
	Convexo			
	Concavo			
Símbolo de soldadura todo alrededor				
Símbolo de soldadura en campo			Soldadura a realizar fuera del taller o del lugar inicial de la construcción.	

TABLA 6.5 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS SUPLEMENTARIOS

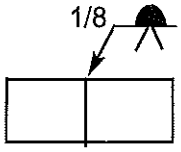
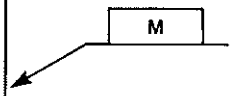
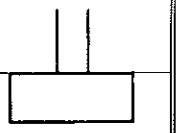
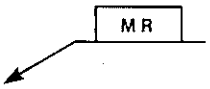
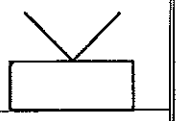
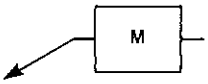
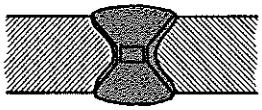
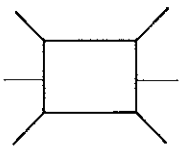
Denominación	Símbolo suplementario	Ejemplo	
		Soldadura representada	Símbolo
Símbolo de refuerzo de raíz. (Sólo ANSI/AWS A2.4)			
Respaldo permamente			
Respaldo no permamente			
Unión con espaciador (Sólo ANSI/AWS A2.4)			

TABLA 6.5 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS SUPLEMENTARIOS

6.2.3. Dimensiones de las soldaduras

Para dimensionar las soldaduras y los chaflanes se utilizan números, la dimensión acotada por cada número depende de su posición en el símbolo de soldeo.

Las dimensiones relativas a la sección transversal de la soldadura se escribirán a la izquierda del símbolo de soldadura mientras que las dimensiones longitudinales se escribirán a su derecha (Ver tablas 6.6, 6.7 y 6.8).

Cuando se simbolice según ANSI/AWS las dimensiones se pueden expresar en pulgadas o en milímetros.

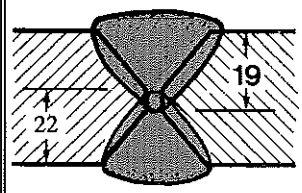
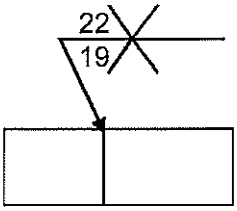
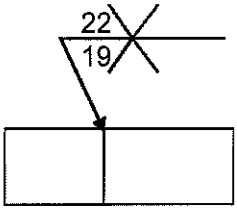
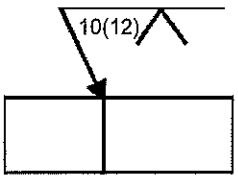
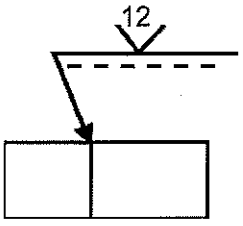
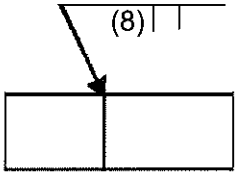
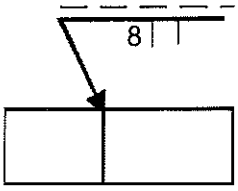
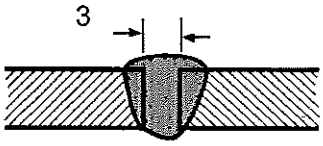
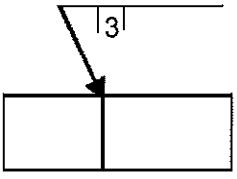
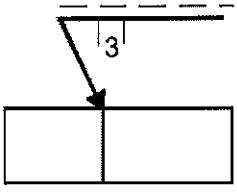
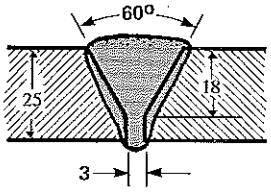
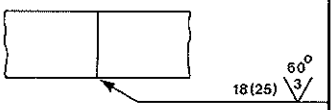
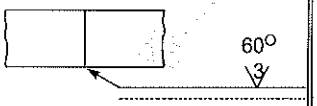
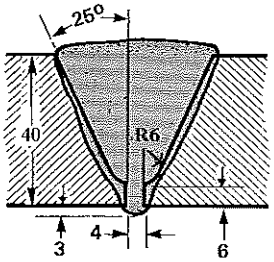
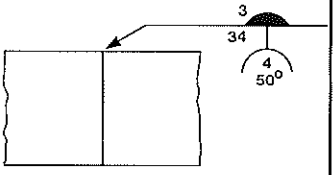
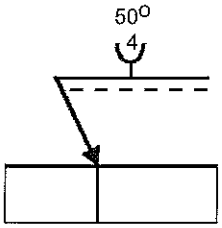
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
		
	 10 = profundidad del chaflán 12 = epenetración	
		
		

TABLA 6.6: DIMENSIONES DE LAS SOLDADURAS CON CHAFLÁN

Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
		
		

(1) Cuando no se indican cotas en el símbolo de soldeo, se debe a que en la norma UNE-EN-22553 no está contemplado explícitamente.

TABLA 6.6 (CONTINUACIÓN): DIMENSIONES DE LAS SOLDADURAS CON CHAFLÁN

La soldadura se extenderá hasta que se produzca un cambio de dirección, a no ser que se acote la longitud de la soldadura o se indique soldadura todo-alrededor. En el caso de soldaduras que se extiendan alrededor de la circuferencia de una tubería, no se requiere símbolo todo-alrededor para especificar una soldadura continua.

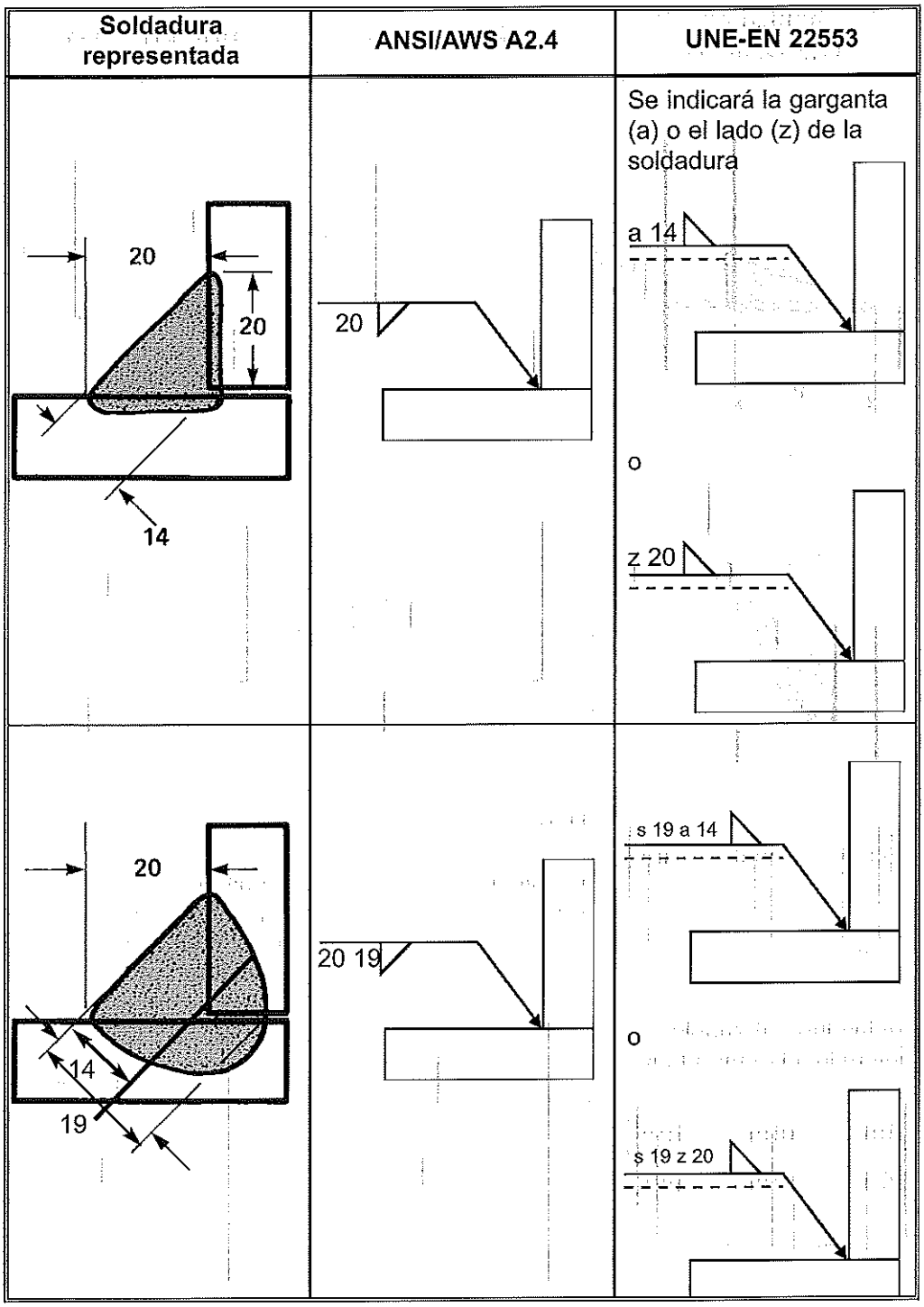


TABLA 6.7: DIMENSIONES EN LAS SOLDADURAS EN ÁNGULO

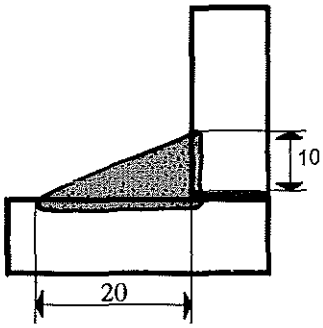
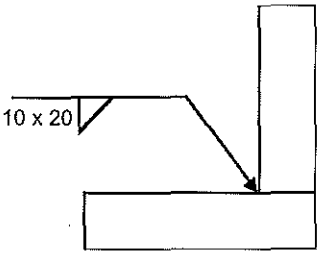
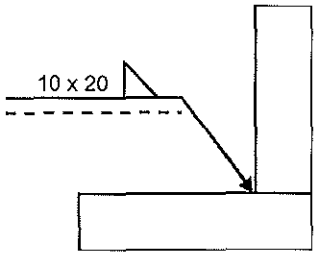
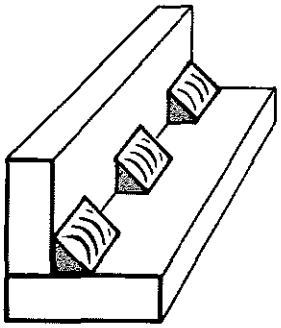
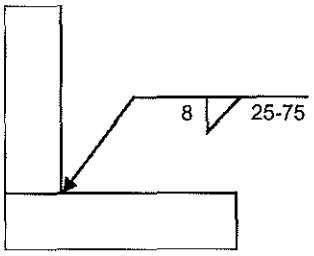
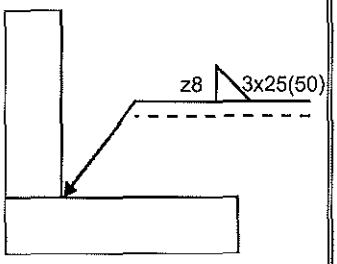
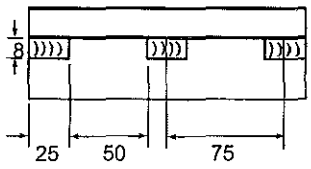
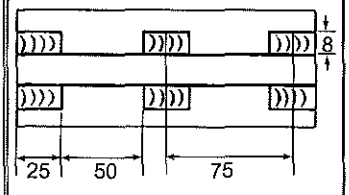
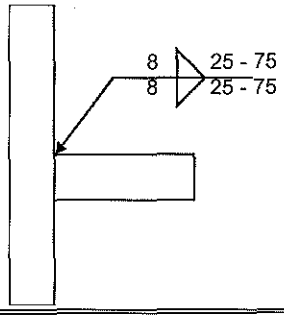
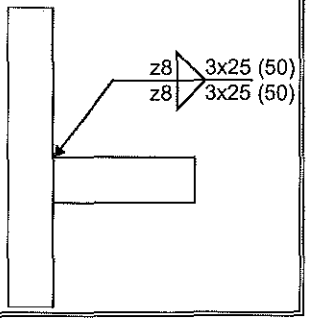
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
		
		
	Nota: Longitud = 25 Paso = 75	Nota: Longitud = 25 Espaciado = 50 Nº de tramos de soldadura = 3
Soldadura en ángulo interminente enfrentada 		

TABLA 6.7 (CONTINUACIÓN): DIMENSIONES EN LAS SOLDADURAS EN ÁNGULO

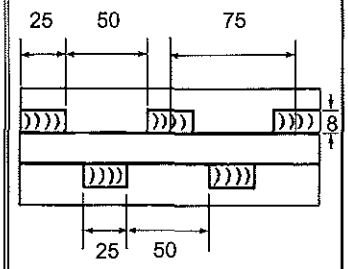
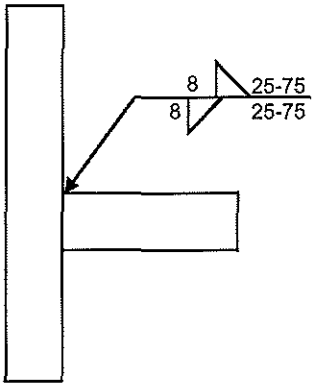
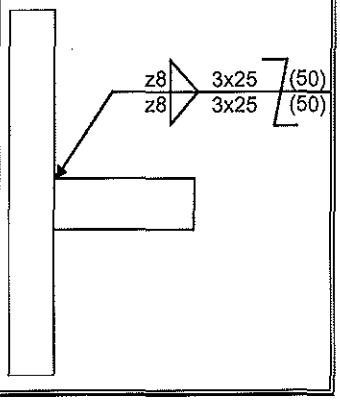
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
Soldadura en ángulo intermitente alternada 		

TABLA 6.7 (CONTINUACIÓN): DIMENSIONES EN LAS SOLDADURAS EN ÁNGULO

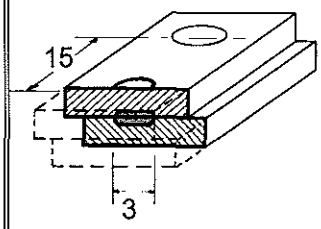
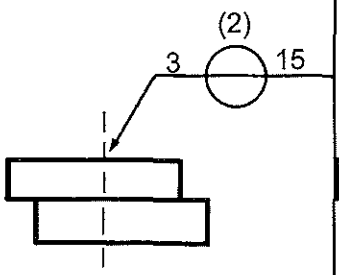
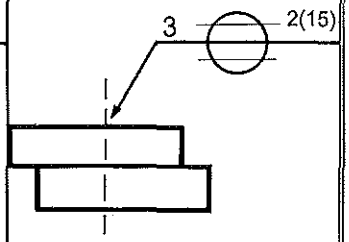
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
 Soldadura por puntos	 Nota: Nº de puntos de soldadura = 2 Dimensión del punto de soldadura = 3 Paso = 15	

TABLA 6.8 : DIMENSIONES DE LAS SOLDADURAS POR PUNTOS Y POR COSTURA

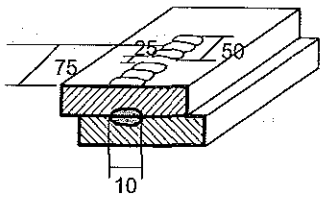
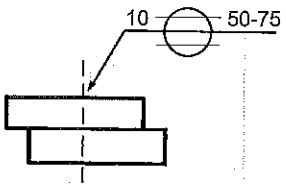
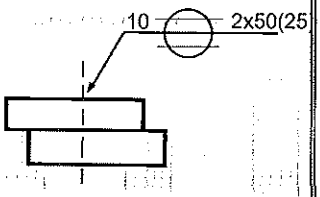
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	 Nota: Longitud de costura = 50 Dimensión de la costura = 10 Paso = 75	 Nota: Longitud de costura = 50 Dimensión de la costura = 10 Espaciado = 25 Nº de costuras = 2

TABLA 6.8 (CONTINUACIÓN): DIMENSIONES DE LAS SOLDADURAS POR PUNTOS Y POR COSTURA

6.2.4. Ejemplos

Ejemplo 1

En las figuras 6.5 se diferencia la simbolización según ANSI/AWS de las soldaduras de reverso y de respaldo.

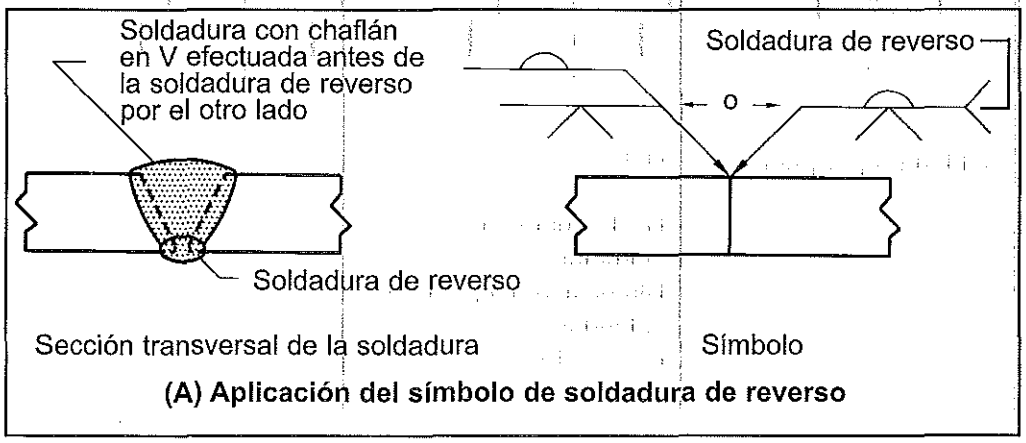

Soldadura con chaflán en V efectuada antes de la soldadura de reverso por el otro lado
Soldadura de reverso
Soldadura de reverso
Sección transversal de la soldadura
Símbolo
(A) Aplicación del símbolo de soldadura de reverso

FIGURA 6.5: APLICACIONES DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA DE REVERSO O RESPALDO

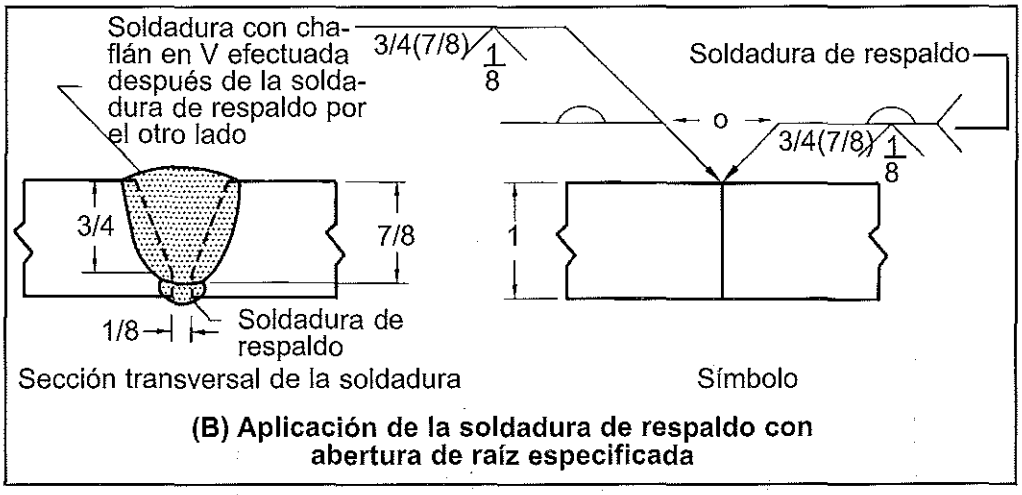


FIGURA 6.5 (CONTINUACIÓN): APLICACIONES DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA DE REVERSO O RESPALDO

Ejemplo 2

En la figura 6.6 se muestra la disposición general de las soldaduras en un tramo de tubería, mientras que en la figura 6.7 se indican, para el mismo tramo de tubería, las simbolizaciones correspondientes según UNE-EN croquis (a) y según ANSI/AWS, croquis (b)

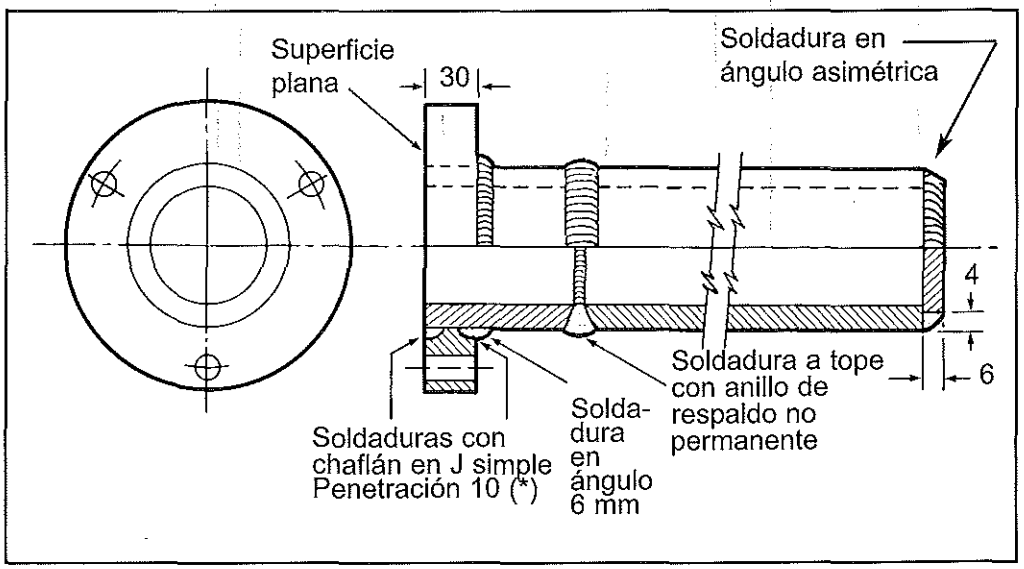

Superficie plana
30
Soldadura en ángulo asimétrica
4
6
Soldadura a tope con anillo de respaldo no permanente
Soldadura en ángulo 6 mm
Soldaduras con chaflán en J simple Penetración 10 (*)

FIGURA 6.6

(*) Esta soldadura se ha realizado con una preparación de chaflán en J simple y después se ha realizado el soldeo en ángulo de lado 6 en uno de los lados y a tope por el otro, esta última soldadura se dejará a paño.

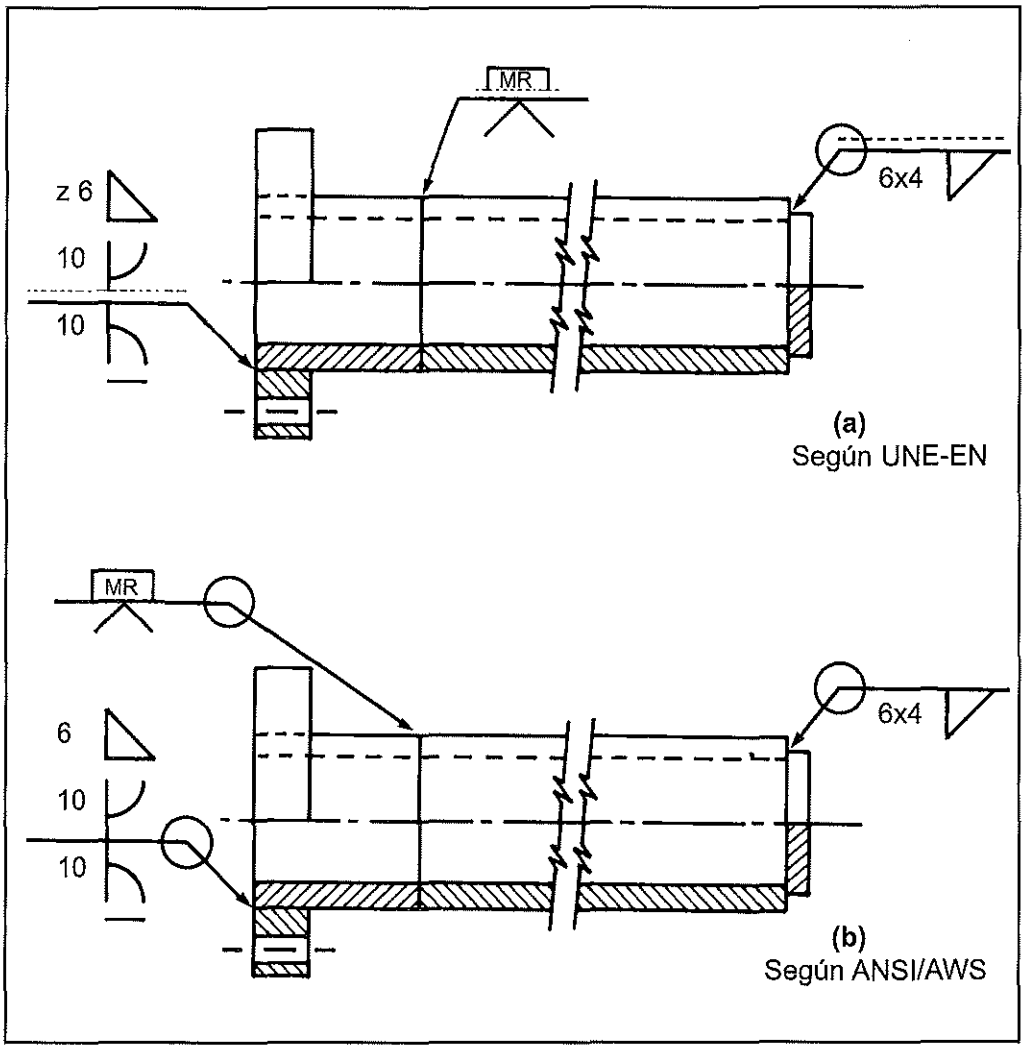


FIGURA 6.7

Ejemplo 3

En la figura 6.8 se representa un depósito cuyas soldaduras están simbolizadas según ANSI/AWS, la interpretación de esta figura es la siguiente:

Las uniones A y B son soldaduras a tope con chaflán en V. Se requiere conseguir un sobreespesor en la raíz, que se deberá eliminar posteriormente hasta conseguir

un contorno a paño. La soldadura A es circunfencial y la B longitudinal.

La unión C es a tope todo alrededor consiguiendo sobreespesor en la raíz, que se eliminará posteriormente hasta conseguir un contorno plano. La preparación de la soldadura es en bisel simple, sólo se prepara la tubería de la boca de hombre, ver figura 6.9.

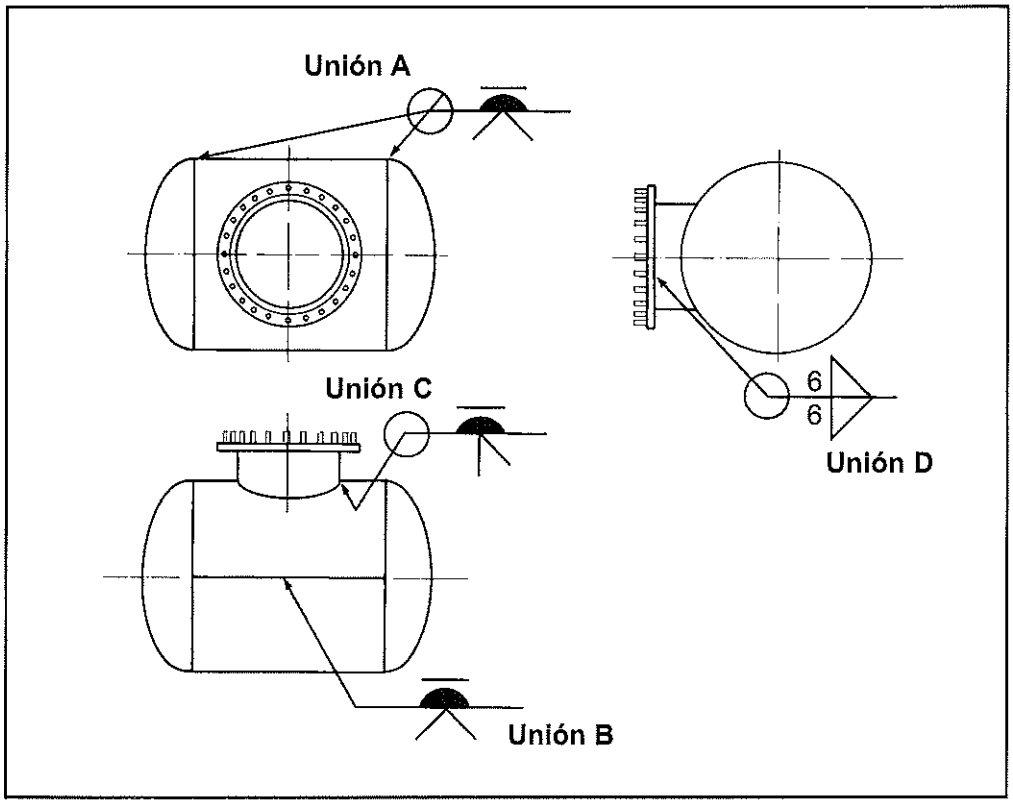


FIGURA 6.8

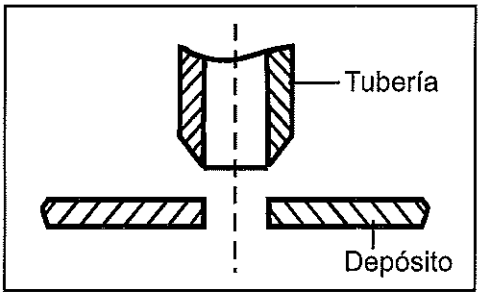


FIGURA 6.9

La unión D es en ángulo con una dimensión del lado de 6 mm. Con este símbolo no queda clara la disposición de la tubería de la boca de hombre respecto a la brida, pudiendo ser cualquiera de los detalles E, F ó G que se indican en la figura 6.10.

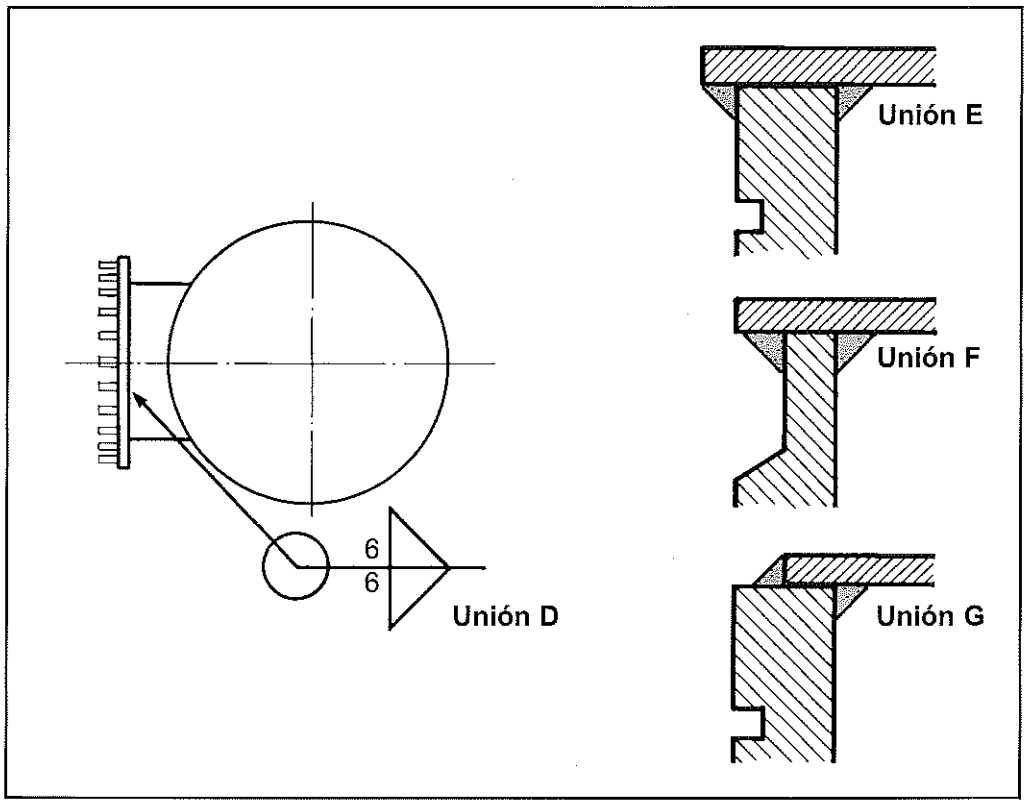


FIGURA 6.10

Capítulo 7 Seguridad e Higiene

INDICE

7.1. Introducción.....114

7.2. Análisis de riesgos.....114

7.2.1. Riesgos por el tipo de trabajo y su lugar de realización.....115

7.2.2. Riesgos por la manipulación de gases comprimidos.....115

7.2.3. Riesgos por la utilización de maquinaria y equipos.....115

7.2.4. Riesgos asociados a los agentes contaminantes producidos durante el soldeo.....116

7.3. Medidas de prevención.....117

7.3.1. Protecciones personales.....118

7.3.2. Protecciones colectivas.....120

7.3.3. Prevenciones en la manipulación de gases comprimidos.....121

7.3.4. Prevenciones en la utilización de materiales y equipos.....128

7.3.5. Protección contra humos y gases.....130

7.4. Riesgos y prevenciones asociadas a las operaciones accesorias al soldeo.....137

7.1. Introducción

En el ámbito de la actividad industrial, la soldadura constituye uno de los procesos en los que intervienen mayor cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de planificar la seguridad de las operaciones. Ello es así porque en el más simple proceso de soldeo actúan **riesgos combinados de electricidad, toxicidad de agentes químicos, radiaciones, calor, etc, y que no sólo afectan al soldador, sino también a su entorno y a terceros.**

Es por ello que el estudio de la seguridad integral para la aplicación de estos procesos requiere un cierto método y orden, para poder aplicar las reglas básicas de la Seguridad que son el Análisis de Riesgos y, posteriormente y en base a ellos, la definición de las Medidas Preventivas.

Cuidado: Protéjase a sí mismo y a los demás. Lea atentamente esta información

LOS HUMOS DE SOLDEO pueden ser peligrosos para su salud.

- Mantenga su cabeza fuera de los humos.
- Utilice suficiente ventilación y una buena extracción de humos y polvo durante las operaciones de soldeo, corte y esmerilado.

LAS RADIACIONES LUMINOSAS DEL ARCO pueden dañar los ojos y producir quemaduras en la piel.

- Utilice las protecciones oculares y ropa de trabajo adecuadas.

LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS pueden causar la MUERTE.

- Antes de comenzar un trabajo, o utilizar una máquina, lea atentamente las instrucciones del fabricante y las recomendaciones de seguridad de máquinas, electrodos, fundentes y materiales base, así como las recomendaciones del Jefe de Seguridad o las recogidas en el Manual de Seguridad.
- No toque zonas cargadas eléctricamente que no posean un aislante adecuado ni cierre un circuito eléctrico con su cuerpo.

7.2. Análisis de Riesgos

El Análisis de los Riesgos es una tarea obligada en cualquier estudio de seguridad, ya que solamente sabiendo los riesgos que se deben evitar se podrán definir y especificar las Medidas Preventivas oportunas.

7.2.1. Riesgos por el tipo de trabajo y su lugar de realización

Los procesos de soldeo se utilizan tanto en puestos fijos en una producción en serie, como en operaciones de montaje de piezas sin puesto fijo en fábricas y en montajes de obras, siendo éstas últimas las de riesgos más frecuentes. Es por ello que al soldador le afectan todos los riesgos inherentes a los trabajadores de montaje, agravándose su situación por la incomodidad que supone el empleo de las protecciones personales, que debe utilizar por su peculiar tipo de trabajo y por las herramientas que necesita.

Entre los riesgos más comunes podemos citar:

- Caídas desde altura.
- Caídas al mismo nivel.
- Atrapamientos entre objetos.
- Pisadas sobre objetos punzantes.

7.2.2. Riesgos por la manipulación de gases comprimidos

Los principales gases empleados en los procesos de soldeo son: acetileno y oxígeno, como combustible y comburente respectivamente para el soldeo y corte oxiacetilénico, y los gases activos o inertes, tales como CO_2, argón o helio empleados como gases de protección.

Algunos de los riesgos que pueden darse en la manipulación y almacenamiento de las botellas de gases son:

- Fugas de gas combustible, con el consiguiente peligro de incendio.
- Explosiones o incendios por retroceso de llama en el soplete.
- Asfixia por desplazamiento del aire por gases inertes.
- Atrapamientos por manipulación de botellas.

7.2.3. Riesgos por la utilización de la maquinaria y equipos

Los principales riesgos a citar son:

- Fuego o explosión por retroceso de llama en sopletes.
- Contactos eléctricos directos con los elementos eléctricos, tales como cables, portaelectrodos, fuentes de alimentación, etc.
- Contactos eléctricos indirectos por fallo en el aislamiento de los componentes eléctricos.

7.2.4. Riesgos asociados a los agentes contaminantes producidos durante el soldeo

Aquí es donde se agrupan los riesgos más específicos de los procesos de soldeo, debido a que las reacciones que son la base de dichos procesos son especialmente violentas, produciendo gran número de agentes contaminantes que podemos clasificar en tres grandes grupos (ver figura 7.1):

- Humos y gases desprendidos durante el soldeo.
- Radiaciones.
- Ruido y proyección de partículas.

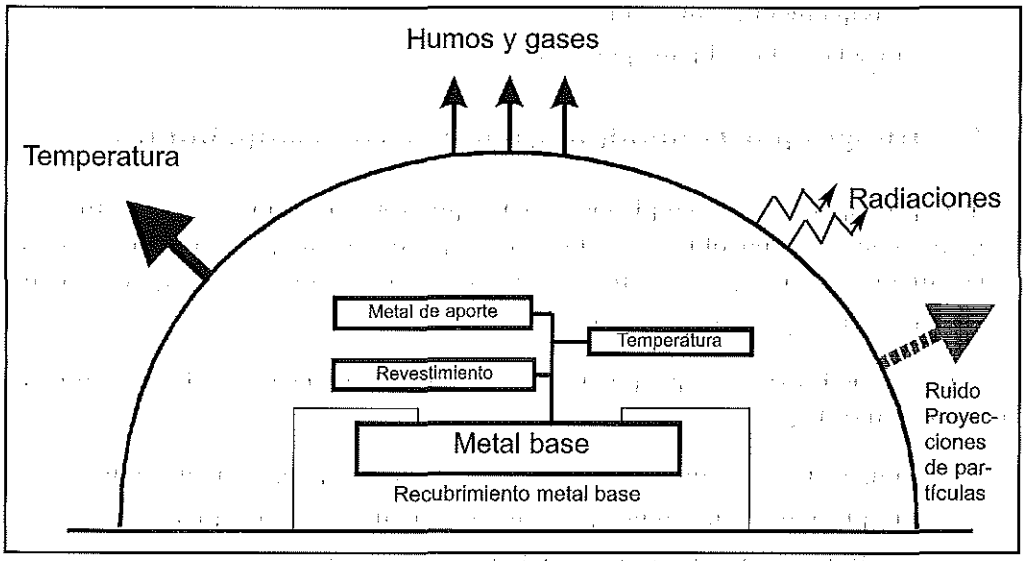


FIGURA 7.1. ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DE AGENTES CONTAMINANTES

Humos y gases

Aparecen por reacción química de los diferentes componentes del proceso. Las diferentes sustancias químicas potencialmente peligrosas tienen diferentes características dependiendo de su origen, pudiéndose destacar las siguientes fuentes:

- Producidos a partir del material base.
- Producidos a partir del recubrimiento del material base (galvanizado, niquelado, cromado, cadmiado, pintado, recubrimientos plásticos, engrasado).

- Producidos por los productos desengrasantes o de limpieza del material base y del de aportación.
- Producidos a partir del material de aportación, del revestimiento o de los fundentes.
- Producidos por reacción con el aire circundante.
- Producidos a partir de los líquidos o gases que estuvieron contenidos en los depósitos a soldar.

Radiaciones

Los procesos de soldeo por arco producen radiaciones visibles, infrarrojas y ultravioletas, que producen lesiones en los ojos y la piel, siendo las radiaciones ultravioletas las más peligrosas. Los procesos de soldeo por llama también producen estas radiaciones aunque con menor intensidad. Otros procesos de soldeo como el de resistencia producen radiaciones visibles e infrarrojas, no siendo, sin embargo, tan nocivas.

Ruido y proyección de partículas

El ruido se produce por la acción de operaciones complementarias al soldeo, tales como el esmerilado, el picado, martillado, etc. Ciertos procesos de soldeo y corte, como el proceso por plasma y algunos de resistencia eléctrica, generan ruidos superiores a los 90 dB.

Las proyecciones de partículas incandescentes pueden alcanzar hasta 10 metros de distancia en horizontal. Estas partículas, con la acción combinada del calor producido y la presencia de gases y materiales combustibles, pueden originar incendios, por lo que se hace imprescindible el que todos los materiales del suelo, paredes, pantallas, etc, sean ignífugos.

7.3. Medidas de Prevención

Una vez conocidos y clasificados los tipos de riesgo a los que se enfrenta la utilización de los procesos de soldeo, estamos en disposición de definir las Medidas de Prevención y Protección que se deben aplicar, las cuales deben recogerse en cualquier planificación de la producción.

Diferenciaremos los siguientes grupos de Medidas de Prevención y Protección.

7.3.1. Protecciones personales

Dirigidas a la protección del personal directamente involucrado en las tareas de soldeo, así como a sus ayudantes.

Prendas protectoras

Todo el cuerpo del soldador está sometido a la posible acción de agentes agresivos, por lo que debe protegerse integralmente con especial atención a los ojos y a su sistema respiratorio, que merecen un desarrollo aparte y que se tratan más adelante. El cuerpo del soldador está sometido, sobre todo, al ataque de los contactos eléctricos y a las proyecciones de partículas incandescentes.

Las prendas de protección recomendables son las que se indican a continuación, debiendo elegirse aquéllas que estén homologadas por el Ministerio de Trabajo.

- Cascos de seguridad, para protección contra la caída de objetos pesados o punzantes.
- Botas de seguridad
- Pantallas o yelmos, provistas de filtros de radiaciones, cubrefiltros y antecristales, elegidos como se detallan más adelante.
- Guantes, manguitos, polainas y mandiles de cuero.
- Guantes aislantes de la electricidad para manejo de los grupos de soldeo.
- Cinturones de seguridad para trabajos en altura.
- Protectores auditivos, que pueden ser tapones, orejeras o cascos antirruido.

Son preferibles las prendas oscuras, con el fin de evitar reflejos.

Las prendas de algodón, por la acción de la radiación ultravioleta, se desintegran en un período que puede variar entre un día y dos semanas, por lo que se recomienda el empleo de lana o cuero.

Las prendas de cuero (guantes, mandiles, polainas y manguitos), deben estar curtidas al cromo, para que sean resistentes a la llama y a las chispas.

Los ayudantes de los soldadores deberán llevar el mismo tipo de protecciones personales en cuanto a prendas protectoras.

Protección de los ojos

Los soldadores, y sus ayudantes, deben utilizar gafas de seguridad provistas de filtros (oculares filtrantes) que detengan, en la medida de lo posible, las radiaciones perniciosas para el ojo humano.

Proceso	Espesor (mm)	Intensidad (A)	Mínimo Nº de filtro	Nº filtro adecuado(1)
Soldeo manual con electrodo revestido		Menor de 60	7	--
		60 - 160	8	10
		160 - 250	10	12
		250 - 550	11	14
Soldeo MIG - MAG y FCAW		Menor de 60	7	--
		60 - 160	10	11
		160 - 250	10	12
		250 - 500	10	14
Soldeo TIG		Menor de 50	8	10
		50 - 150	8	12
		150 - 500	10	14
Soldeo por plasma		Menor de 20	6	6 - 8
		20 - 100	8	10
		100 - 400	10	12
		400 - 800	11	14
Soldeo oxigás (acero)	4			4 - 5
	4 - 13			5 - 6
	Mayor de 13			6 - 8
Oxicorte (acero)	Menor de 25			3 - 4
	25 - 150			4 - 5
	Mayor de 150			5 - 6
Arco Aire		Menor de 500	10	12
		500 - 1000	11	12
Corte por plasma (2)		Menor de 300	8	9
		300 - 400	9	12
		400 - 800	10	14
Soldeo fuerte con soplete				3 - 4
Soldeo blando con soplete				2

(1) Para seleccionar el filtro más adecuado, elegir primero el más oscuro (con nº mayor); si se ve con dificultad seleccionar filtros más claros (con nº menor) hasta conseguir una buena visión. El utilizar un vidrio más opaco no proporcionará una protección mejor, pudiendo ser perjudicial puesto que obliga a acercarse más a la fuente de radiación, lo cual será nocivo para la higiene respiratoria. No seleccionar filtros menores a los mínimos recomendados.

(2) Se pueden seleccionar filtros menores cuando la operación se realiza con mesas de agua.

TABLA 7.1: GUÍA PARA LA ELECCIÓN DEL FILTRO DE ACUERDO CON ANSI/ASC Z49.1-94

Para ello, se define el grado de protección de los distintos oculares filtrantes en base al porcentaje de trasmisión de las radiaciones ultravioleta, visible e infrarroja, a través del filtro.

Así, por ejemplo, un filtro del nº 10 deja pasar un 0,0003% de las radiaciones ultravioleta de una determinada longitud de onda, mientras que un filtro del nº 4 deja pasar el 0,95% del mismo tipo de radiación.

Por tanto, los filtros a utilizar serán de un nº más elevado cuanto mayor sea la intensidad en el soldeo por arco eléctrico, siendo más elevado para el soldeo por arco eléctrico que en el oxiacetilénico. En la tabla 7.1 se da una guía para la elección de filtros.

Los filtros han de ser seleccionados teniendo en cuenta como mínimo los parámetros siguientes: tipo de arco o llama, intensidad de la corriente de soldeo o caudal de gas, posición y distancia del operario en relación al baño de fusión, iluminación del local y sensibilidad óptica del soldador.

Asímismo, el filtro debe ser capaz de dejar pasar en el campo visible una intensidad suficiente para que el soldador pueda seguir sin fatiga el comportamiento del electrodo o de la boquilla en el momento de la fusión.

7.3.2. Protecciones colectivas

Dado que también el entorno del soldador, y por tanto los operarios que están en las proximidades, están sometidos a riesgos producidos por el soldeo, es necesario adoptar medidas de prevención colectivas que citamos a continuación.

En esta relación no se hace referencia al control de la atmósfera ambiente, ya que este tema se tratará aparte en el apartado 7.3.5.

- En el soldeo de obra en altura se proveerán redes de seguridad que no sean de poliamida, ya que éstas pueden quemarse. Deben utilizarse redes de material ignífugo.
- No deberán permitirse los trabajos en altura con vientos iguales o superiores a 60 km/hora, o cuando esté lloviendo.
- Las áreas de soldeo deberán delimitarse por medio de pantallas que impidan el paso de radiaciones y de chispas. Por lo tanto, estas pantallas deberán ser preferentemente de color oscuro para que no reflejen las radiaciones y de un material incombustible. Estas pantallas se colocarán de manera que permitan la circulación de aire por su parte inferior.
- Todas las áreas deben proveerse de la correspondiente señalización que indique los trabajos que se están llevando a cabo, así como de las protecciones de uso obligatorio (casco, filtros oculares, etc).

Protección contra–incendios

Este tema es especialmente importante en soldadura, por lo que toda la reglamentación general sobre contra incendios debe aplicarse en su integridad.

- Todo el área de trabajo debe estar limpia de materiales de desecho, especialmente los combustibles.
- En algunos casos es aconsejable mojar el suelo, aunque el suelo húmedo aumenta el peligro de descargas eléctricas. Debe valorarse cada caso.
- Deben protegerse especialmente las botellas de gas.
- Debe señalizarse toda el área, indicando las rutas de escape y la localización de extintores.
- Debe disponerse de extintores portátiles y, si es posible, de una manguera.

7.3.3. Prevenciones en la manipulación de gases comprimidos

Cuando se desea almacenar grandes cantidades de cualquier gas en recipientes de poco volumen, que permita su transporte y almacenamiento fácil, se comprime a alta presión.

A continuación se indicarán una serie de normas para el buen almacenamiento, transporte y utilización de los gases comprimidos.

Almacenamiento y Transporte

Los gases comprimidos se almacenan en cilindros o botellas y en tanques o depósitos. Se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- No situar las botellas en pasillos ni lugares de paso
- El almacén de botellas de gases debe estar delimitado y protegido por puertas si es posible.
- Las botellas deben sujetarse con cadenas de seguridad (ver figura 7.2).
- Emplear grúa con cesta o plataforma para subir o bajar las botellas, nunca utilizar un electroimán (el corte de tensión resultaría en una caída de las botellas). Para su transporte se emplearán carros con cadenas de seguridad (figura 7.3) y sólo desplazarlas a mano por rodadura para desplazamientos cortos.
- Las botellas de acetileno y de gases licuados (en estado líquido) deben utilizarse y almacenarse siempre en posición vertical, se preferirá también esta posición para las botellas de cualquier otro gas.

- Las botellas deben ser identificadas perfectamente antes de su empleo, esta tarea sólo debe realizarse leyendo su etiqueta. Si una botella no tiene etiqueta no se deberá utilizar. No se debe identificar el contenido de la botella únicamente por su color, ya que puede ser diferente según la zona o país, no obstante es una ayuda en su identificación, en la tabla 7.2 se indican los colores de las botellas más utilizadas.

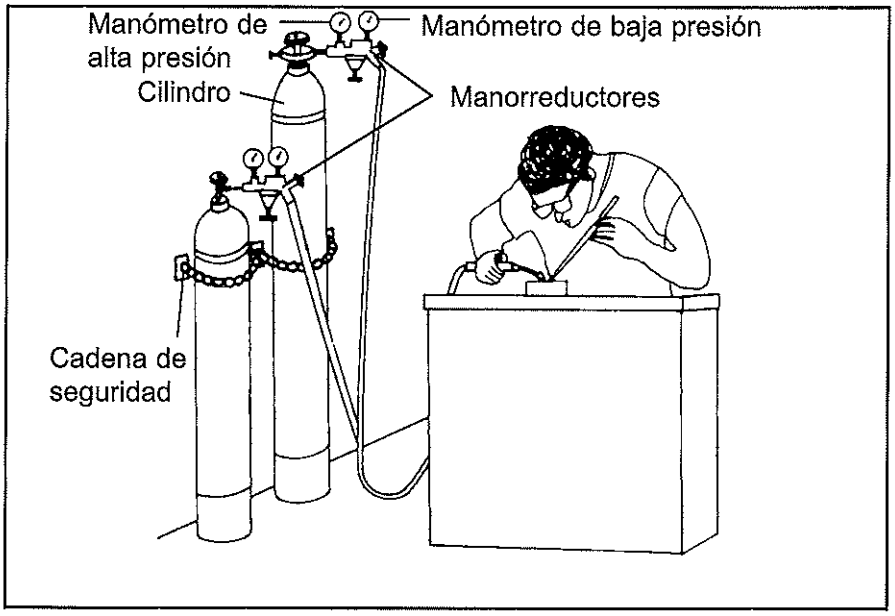


FIGURA 7.2: SUJECIÓN DE BOTELLAS

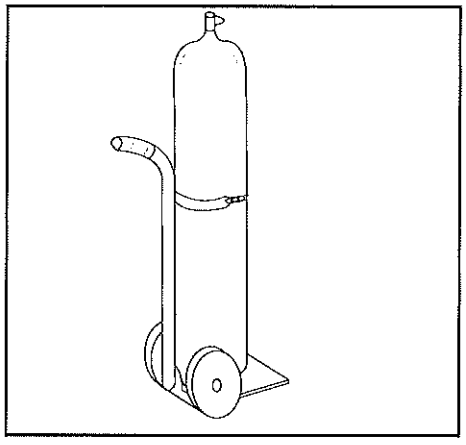


FIGURA 7.3: CARRO PARA TRANSPORTE DE BOTELLAS CON CADENA DE SEGURIDAD

Gas	Cuerpo	Ojiva
Oxígeno	Negro	Blanca
Acetileno	Rojo	Marrón
Nitrógeno	Negro	Negra
Hidrógeno	Rojo	Roja
Argón	Negro	Amarilla
CO_2	Negro	Gris

TABLA 7.2: IDENTIFICACIÓN DE LAS BOTELLAS POR SU COLOR

- Muchas botellas tienen una caperuza para proteger la válvula (ver figura 7.4). La caperuza tiene que estar siempre puesta sobre la botella, a no ser que no se esté utilizando la botella. Nunca se debe elevar la botella mediante esta caperuza a no ser que esté especialmente diseñada para ello (ver figura 7.5).
- Las botellas vacías se identificarán como tales y se dispondrán en posición vertical y sujetas con cadenas de seguridad.

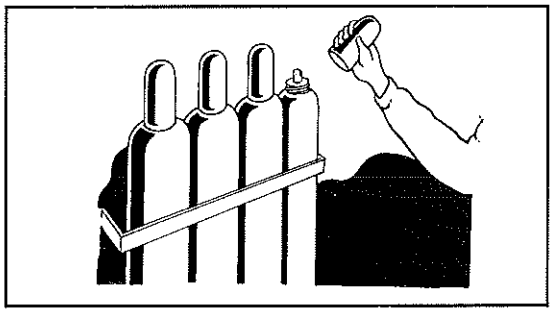


FIGURA 7.4: CAPERUZA DE PROTECCIÓN DE VÁLVULA

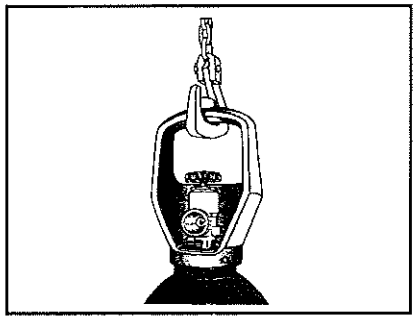


FIGURA 7.5: BOTELLAS DE GAS CON CAPERUZA DE PROTECCIÓN ESPECIALMENTE DISEÑADA PARA ELEVAR LA BOTELLA

Utilización de los gases

Para que el empleo de los gases comprimidos sea seguro se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los reguladores o manorreductores deben utilizarse para todas las botellas de gas comprimido. Todo regulador debe estar equipado con un manómetro de alta presión (que mide la presión de la botella, lo que indica su contenido) y uno de baja presión (que mide la presión de trabajo). (Ver figura 7.2)
- Las válvulas de las botellas que contengan gases a gran presión, en particular oxígeno, deben abrirse despacio. Es preferible no abrir las válvulas de las botellas que contienen gases combustibles más de una vuelta, de esta forma se puede cerrar rápidamente en caso de emergencia.
- Antes de conectar el manorreductor se deberá purgar la botella (figura 7.6), de esta forma se eliminarán todas las partículas que, en forma de polvo, están alojadas en su grifo, si no se eliminaran estas partículas pasarían al manorreductor y originarían la avería del mismo.

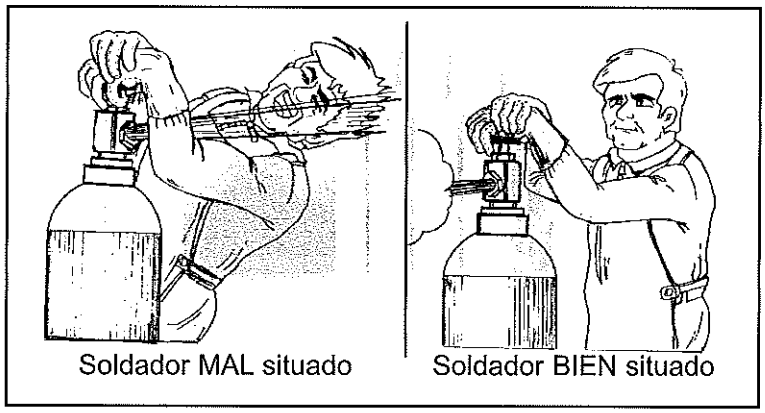


FIGURA 7.6: SITUACIÓN PARA EL PURGADO DE BOTELLAS

- Se cerrará la botella de gas después de cada utilización, y también quedará cerrada la botella cuando esté vacía, esto previene pérdidas por las posibles fugas.
- Se recomienda retirar las botellas vacías y devolverlas al suministrador cuando la presión de la botella sea 1,72 bar (0,172 Mpa $\simeq$ 1,7 Kg/cm^2), evitando de esta manera su contaminación atmosférica.
- Nunca calentar las botellas o depósitos que contienen gases comprimidos, ni situarlos cerca de focos de calor ya que podrían explotar.

Tanques criogénicos

Son tanques que almacenan gases a presión sometidos a bajas temperaturas para que se encuentren en estado líquido y ocupen menos espacio. Como ejemplo de gases que se pueden almacenar en tanques criogénicos en estado líquido están el oxígeno, el argón y el nitrógeno.

Los tanques de este tipo deben construirse con materiales criogénicos (es decir para bajas temperaturas) ya que muchos metales, como el acero al carbono, se vuelven frágiles a bajas temperaturas.

La utilización de depósitos criogénicos requieren mayores cuidados, que deben dejarse bajo la responsabilidad de empresas especializadas.

Gases combustibles

- Acetileno
  - * El acetileno es un gas explosivo si su contenido en aire está comprendido entre el 2 y 82%. También explota si se comprime solo, sin disolver en otra sustancia, por lo que para almacenarlo se disuelve en acetona y se almacena en cilindros rellenos de una sustancia porosa (ver figura 7.7). La presión de los cilindros es de 15 Kg/cm^2.
  - * La presión de los conductos que transportan acetileno no debe sobrepasar nunca 1,5 bar (1,5 Kg/cm^2).
  - * El diámetro interior de la tubería de acetileno no debe ser superior a 50 mm.
  - * La velocidad de salida del acetileno no superará 7 m/s.
  - * El acetileno es explosivo en contacto con plata, mercurio o aleaciones con más de un 70% de cobre, por lo que las tuberías no deben ser de ninguno de estos materiales.
- Los demás gases combustibles (propano, butano...) suelen estar almacenados en botellas en estado líquido a alta presión y temperatura ambiente.
- Si existe alguna fuga puede producirse fuego por lo que se deberá controlar y prevenir las fugas.
- Se han llegado a producir accidentes graves al acoplar reguladores de oxígeno a botellas de gas combustible. Por ello es norma habitual el que las roscas empleadas para oxígeno sean a derechas y las de combustible a izquierdas. También se distinguen por el color.

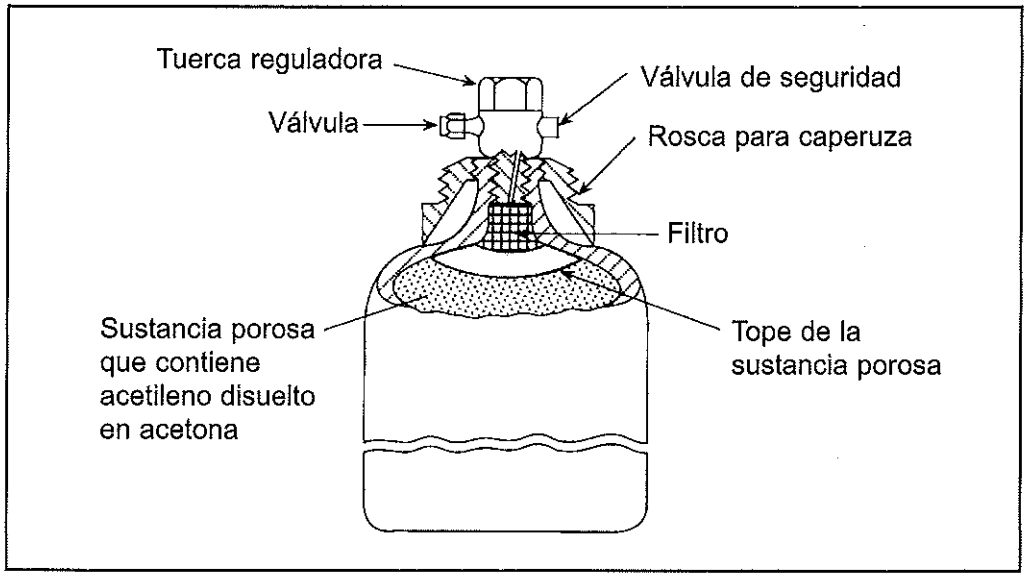


FIGURA 7.7: CILINDRO DE ACETILENO

Oxígeno

- El oxígeno es un gas no inflamable pero inicia y mantiene la combustión de los materiales combustibles, por tanto los cilindros de oxígeno no deberán almacenarse al lado de los de gas combustible ni rodeados de ellos, y nunca se debe utilizar como sustituto del aire.
- Nunca se debe poner las materias grasas en contacto con el oxígeno, ya que arderían espontáneamente. Se prohibe lubricar las conexiones, válvulas, manorreductores y cualquier otro aparato para el oxígeno.
- Nunca utilizar oxígeno en los compresores de aire ni tampoco para limpiar superficies o ropas, ni para ventilar espacios reducidos.
- El oxígeno se almacena a presión en cilindros en estado gaseoso (ver figura 7.8 a) y en estado líquido en tanques o depósitos criogénicos (ver figura 7.8 b)

Gases de protección

- Los gases de protección como helio, argón y nitrógeno se suministran comprimidos en estado gaseoso en botellas (ver figura 7.8.a), o en estado líquido en tanques criogénicos, el CO_2 de las botellas está almacenado en estado líquido a temperatura ambiente.

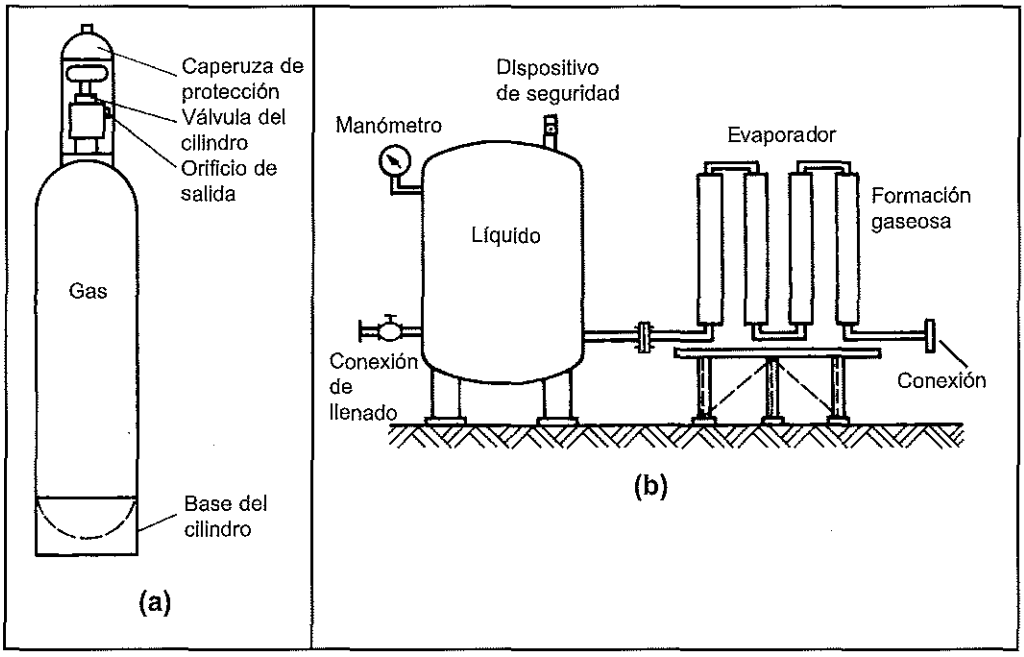


FIGURA 7.8: ALMACENAMIENTO DE GASES COMO EL OXÍGENO Y LOS GASES INERTES A) EN ESTADO GASEOSO B) EN DEPÓSITOS CRIOGÉNICOS EN ESTADO LÍQUIDO

- El mayor peligro de los gases de protección es que desplazan el aire impidiendo la respiración y pudiendo provocar la asfixia del soldador, por tanto cuando se vaya a soldar en espacios reducidos deberán estar bien ventilados, si no es imposible controlar el oxígeno del aire se deberá realizar el soldeo con pantallas de soldeo con impulsión o extracción de humos incorporado.

Mangueras

- Solamente se utilizarán mangueras especialmente diseñadas para los gases comprimidos que van a transportar.
- Las mangueras de gases combustibles suelen ser rojas y las de oxígeno azules. Nunca intercambiar las mangueras.
- Controlar el estado de las mangueras y detectar las fugas. Cuando se detecte cualquier corte o quemadura reemplazar la manguera, nunca repararla.
- Nunca se debe doblar la manguera para detener el flujo de gas.

Localización de la fuga

- La fuga de gas en la botella está localizada en el mecanismo de apertura y cierre de la válvula.
- Si una botella pierde gas, estando bien cerrada la válvula, hay que pensar que el mecanismo de la misma se ha aflojado o deteriorado.
- Cuando la fuga es importante lo detectamos bien por el ruido del escape, más acentuado en botellas de gases comprimidos (oxígeno, argón, aire comprimido, nitrógeno), y por el olor cuando el gas está diluído (acetileno) o licuado (propano, butano).
- Si la fuga es pequeña no estaremos seguros de detectarla por los sentidos (oído y olfato). Ante la duda, se debe hacer la comprobación "aplicando agua jabonosa" sobre el grifo de la botella; si existe fuga se localizará por muy pequeño que sea el escape. Si apretando el mecanismo de la válvula no se consigue detener la fuga, se deberá situar la botella en el exterior, indicando que está fuera de servicio y llamar al suministrador con urgencia.
- Las fugas en las mangueras se pueden detectar con agua jabonosa o sumergiéndola en agua.

7.3.4. Prevenciones en la utilización de materiales y equipos

Los sopletes deben proveerse de una válvula antirretroceso de llama, que impida que la combustión avance desde el soplete por la manguera hasta la botella de gas. (Ver capítulo 9).

Material eléctrico

La utilización de equipos eléctricos, como los grupos de soldeo, esmeriladoras y equipos de corte pueden producir accidentes indirectos por combustión de vapores inflamables, y también accidentes al personal operario por contactos eléctricos directos o indirectos.

Para el soldeo por arco puede utilizarse tanto corriente alterna como continua. Para ellos se emplean grupos de soldeo, que son esencialmente transformadores con rectificadores que proporcionan una corriente con tensiones entre 15 y 40 voltios y que suministran intensidades de hasta 600 Amperios.

Las principales medidas de seguridad son las siguientes:

- Los cables deben tener la sección necesaria para soportar la gran densidad de corriente utilizada, y también debe tenerse en cuenta la distancia desde

la máquina de soldeo al puesto de trabajo. Una orientación de estas secciones se refleja en la tabla 7.3. La relación entre la sección y el diámetro de un cable se expresa como:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \qquad \text{y por tanto} \qquad d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

siendo:

S = Sección del cable en mm^2
d = diámetro del cable en mm

$$\pi = N^{o}Pi \approx 3,14$$

Ejemplo:

Si la sección de un cable es de 35 mm^2

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 35}{3,14}} = 6,7\,mm$$

- La fuente de alimentación de las máquinas de soldeo debe estar provista de interruptores diferenciales que protejan a los operarios de los posibles contactos eléctricos indirectos.
- Las carcasas de los grupos de soldeo deben estar conectadas a tierra para evitar descargas a los operarios por una derivación del circuito de alimentación. Las descargas son corrientes eléctricas que pasan por el cuerpo y pueden causar la muerte por electrocución.
- Se deberán mantener las fuentes de energía en buen estado, realizando el mantenimiento adecuado para cada máquina evitando cualquier acumulación de polvo.
- Utilizar guantes, prendas secas y realizar los trabajos sobre suelo aislante.
- Cuando se va a realizar el soldeo en ambientes peligrosos (en atmósfera húmeda, en espacios muy reducidos ...) la tensión en vacío debe estar limitada a 50 V en corriente alterna y 75 V en corriente continua.
- La pieza debe estar conectada a tierra. ¡El cable de la pieza no es suficiente!

Evidentemente, no se deben permitir empalmes encintados ni cables con el aislamiento estropeado o cuarteado. Todos los empalmes deben efectuarse con conexiones estancas y aisladas de modelo y tipo normalizados.

	Distancia desde la máquina de soldar al lugar de trabajo (metros)									
	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Intensidad (Amperios)	Sección mínima necesarria mm^2									
100	25	25	35	35	35	35	50	50	50	50
150	35	35	50	50	50	50	70	70		
200	35	50	50	70	70	70				
250	35	50	70	70	70					
300	50	70	95	95						
350	50	70	95							
400	50	70	95							
450	70	95								
500	70	95								
550	95									
600	95									

TABLA 7.3: SECCIÓN MÍNIMA NECESARIA DE LOS CABLES DE SOLDEO

Utilización de tabla 7.3. Seleccionar la intensidad que va a circular por el cable y trazar una línea horizontal, seleccionar la distancia desde la máquina al lugar de trabajo y trazar una vertical. La sección del cable recomendada será la señalada por el corte de ambas líneas. Ejemplo: si se va realizar el soldeo con 150 A y a 25 m de distancia de la fuente, la sección del cable debéra ser de 35 mm^2.

7.3.5. Protección contra humos y gases

Se ha indicado que uno de los principales riesgos que afectan a los soldadores, y a los demás de su entorno, son los que actúan sobre el sistema respiratorio en forma de humos y gases.

La eliminación de estos riesgos exige que los humos no alcancen la zona respiratoria, o, si lo hacen, que hayan sido previamente diluidos. Se deben tener las siguientes consideraciones:

- Posición del soldador.
- Utilización de la ventilación general.
- Utilización de la extracción localizada.

- Utilización de la impulsón localizada.

Precauciones a tener en cuenta cuando se sueldan piezas recubiertas o desengrasadas

Cuando las superficies recubiertas se sueldan se producen gases nocivos. Por ello, tales recubrimientos deberían ser eliminados, en una franja de 25-50 mm a ambos lados de la unión, antes del soldeo. Si no es posible, deberá instalarse una ventilación más potente en el puesto de trabajo. La mayor parte de los recubrimientos pueden quitarse mediante chorreado o esmerilado.

El Cadmio debe ser eliminado químicamente debido a su alto nivel de toxicidad. Por ello deben tomarse precauciones estrictas durante el soldeo de materiales cadmiados. Éstas deberían incluir el empleo de una mascarilla y un sistema eficiente de extracción de humos.

Para desengrasar las piezas se debe evitar utilizar sustancias como el benceno. Las operaciones de limpieza de las superficies se deben llevar a cabo en talleres separados de la zona de soldeo y dotados de suficientes sistemas de ventilación. Antes de realizar el soldeo de una pieza desengrasada debe dejarse secar hasta que todo el disolvente se haya evaporado.

Posición del soldador

La tendencia natural del soldador es inclinarse sobre la pieza (ver figura 7.9 a), en esta posición el soldador respira el humo formado durante el soldeo. Sin embargo, si adopta una postura en la que su cabeza no esté directamente sobre el humo, la cantidad de contaminantes inhalados será mucho menor (ver figura 7.9 c).

Ventilación general

Si varios soldadores realizan su trabajo en un taller cerrado, se producirá la contaminación del aire que respira cualquier persona que se encuentre en dicho taller. Para controlar este problema normalmente se instala un sistema de ventilación general, con el que se extrae el aire suficiente para conseguir un nivel de humos aceptable y se suministra aire para reemplazar el extraído. Idealmente los humos de soldeo deberán retirarse de la zona donde respira el soldador (ver figura 7.9 b), sin embargo casi siempre va a ser necesario disponer de extracción localizada (ver figura 7.9 d).

La ventilación general, situada lo más cerca posible del techo, es imprescindible en los talleres donde se suelde, corte o caliente con oxigás, ya que los óxidos de nitrógeno (NO, NO_2) se desplazan con gran velocidad hacia la parte superior del taller no pudiéndose captar en su totalidad por los sistemas de extracción localizada.

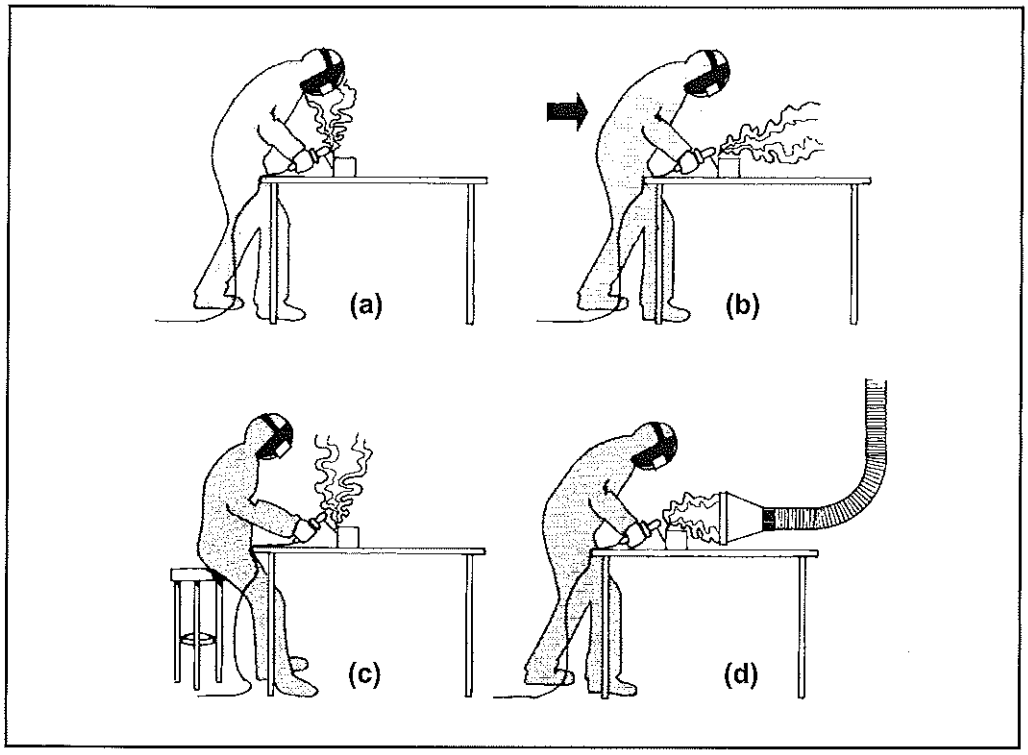


FIGURA 7.9: A) EXCESIVA EXPOSICIÓN A LOS HUMOS DE SOLDEO B) VENTILACIÓN GENERAL C) POSICIÓN DE SOLDEO ADECUADA D) EXTRACCIÓN LOCALIZADA

Impulsión localizada

Consiste en la generación de corrientes de aire que desvíen o diluyan el humo que existe alrededor del soldador. Para ello se puede insuflar aire comprimido dirigido al punto de soldeo, sin afectarlo. Algunos fabricantes han adoptado el sistema aplicándolo al portaelectrodos utilizado en el soldeo por arco con protección gaseosa.

Extracción localizada

La extracción localizada efectúa la captación del contaminante por aspiración lo más cerca posible de su punto de emisión, evitando así su difusión al ambiente y eliminando por tanto la posibilidad de que sea inhalado.

Tipos de sistemas de extracción e impulsión de humos

Sistemas de extracción semimóviles

En los casos en los que el soldador deba desplazarse durante su trabajo, por ejemplo al soldar piezas muy grandes, no es posible el empleo de mesas o bancos

de soldeo con extracción fija, debiendo recurrir a bocas de aspiración desplazables como la esquematizada en la figura 7.10, muchas veces estos sistemas poseen un sistema de fijación magnética (ver figura 7.11). En este tipo de campanas es crítico para su eficacia que la distancia (distancia x en la figura 7.10) entre la boca de aspiración y el punto de soldeo no sea superior a lo previsto en el diseño del extractor.

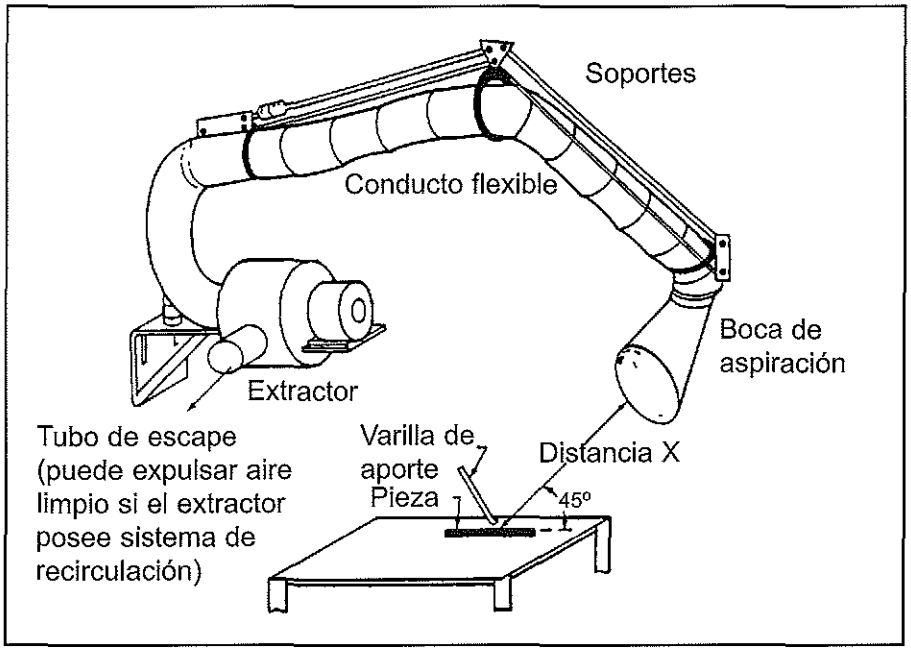


FIGURA 7.10: EXTRACTOR FLEXIBLE SEMIMÓVIL

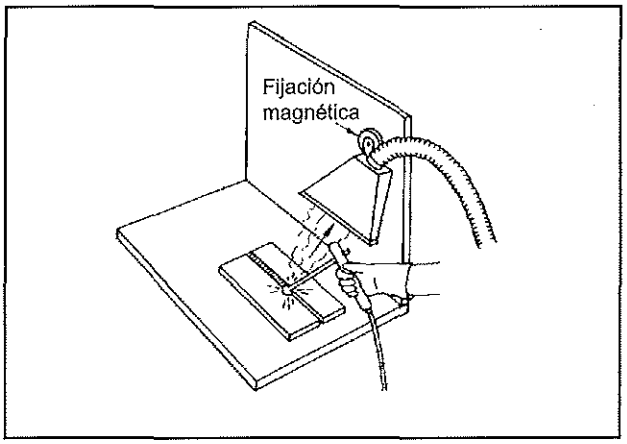


FIGURA 7.11: EXTRACTOR SEMIMÓVIL CON FIJACIÓN MAGNÉTICA

Sistemas portátiles o móviles

Son especialmente adecuados cuando se realiza el soldeo en diferentes lugares. Estas unidades suelen extraer el humo de soldeo, lo filtran y lo devuelven limpio a la atmósfera de trabajo. Una unidad de este tipo se representa en la figura 7.12.

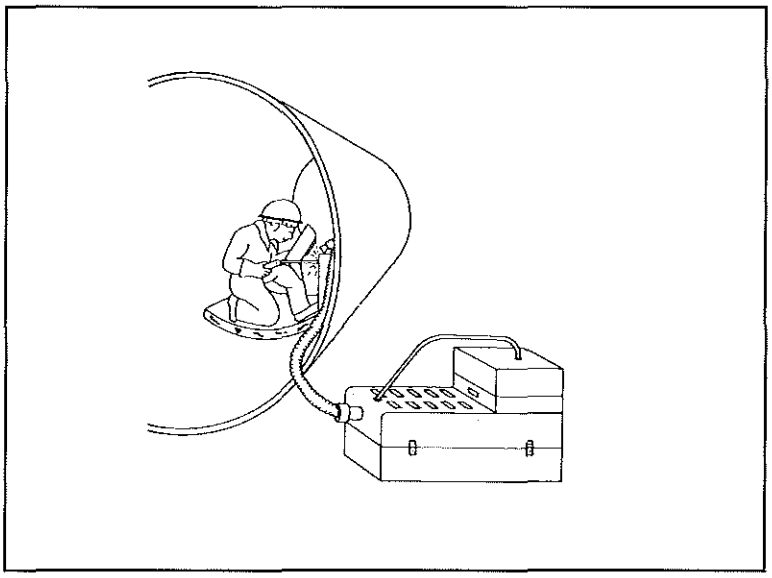


FIGURA 7.12: EXTRACCIÓN CON UNIDAD FILTRANTE PORTÁTIL

Sistemas fijos en bancos de soldeo

Los bancos de trabajo suelen estar provistos de extractores fijos, que pueden ser de aspiración por la parte superior (figura 7.13 a), inferior (figura 7.13 b) o trasera. La extracción por la parte inferior no es siempre eficaz puesto que se opone a la ascensión natural de los humos, teniendo en muchos casos que complementarse con sistemas de aspiración posterior (figura 7.13 c) o superior (figura 7.13 d).

En el caso del corte por plasma se utilizan mesas de agua (ver figura 8.12).

Pistola con extracción de humos

En el caso del soldeo por arco con gas, o en el soldeo por arco con alambre tubular, la pistola puede estar provista de un extractor (ver figura 7.14). En este caso se consigue aspirar todas las partículas en la zona del arco, sin embargo no se consigue eliminar los gases tóxicos, como los óxidos de nitrógeno o el ozono que se produce como reacción de las radiaciones ultravioletas con la atmósfera a alguna distancia del arco eléctrico. Será necesario, por tanto, utilizar ventilación general o ventilación localizada.

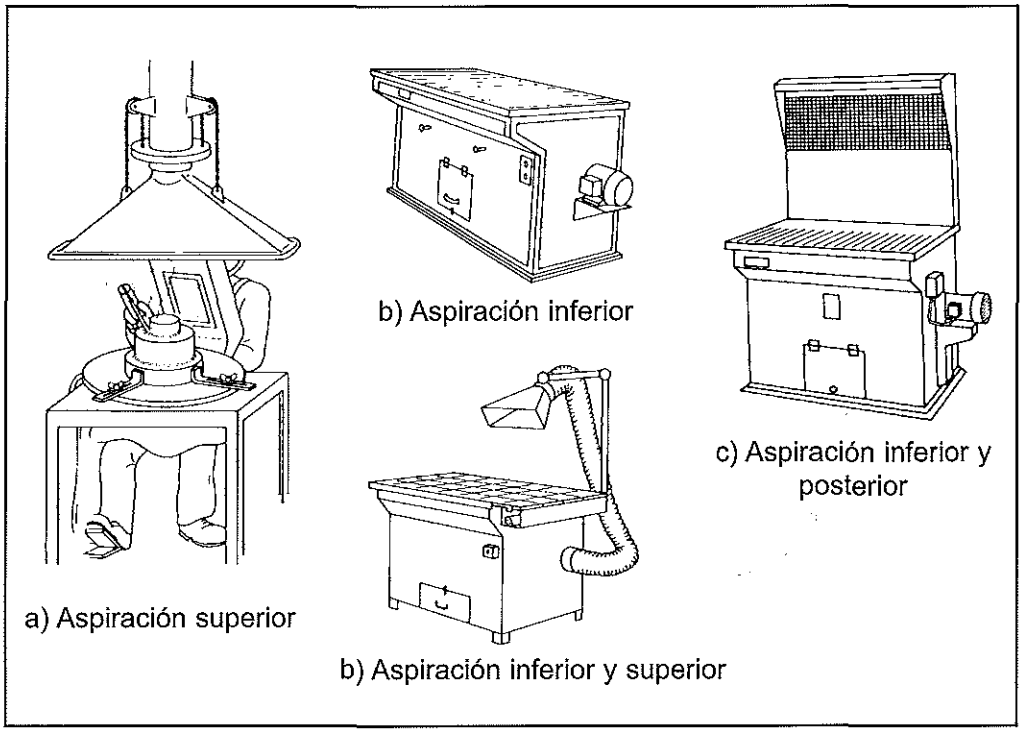


FIGURA 7.13: EXTRACCIÓN DE HUMOS EN BANCOS DE SOLDEO

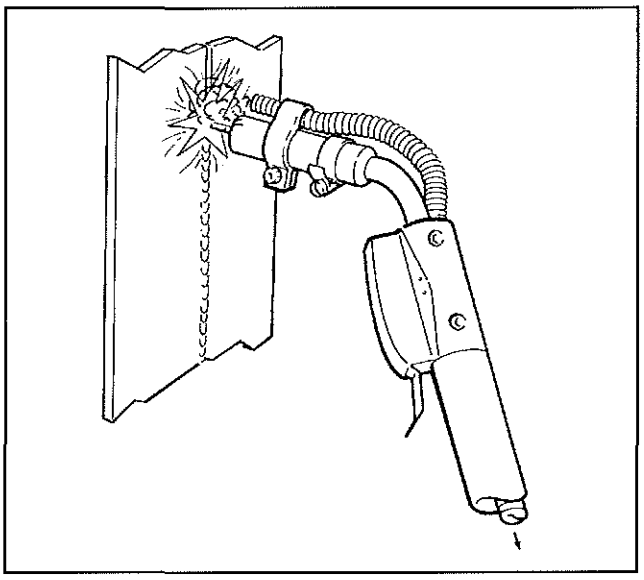


FIGURA 7.14: PISTOLA DE SOLDEO CON EXTRACTOR

Sistemas de protección personal

Mascarilla

Si no es posible retirar el humo de soldeo de la atmósfera antes de su llegada al soldador, o en el caso de soldar materiales que produzcan humos muy tóxicos, se pueden utilizar mascarillas como la representada en la figura 7.15.

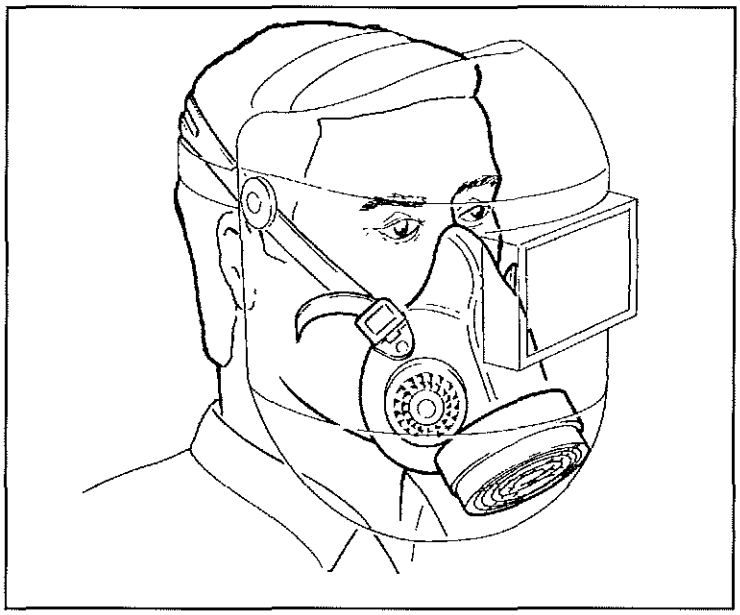


FIGURA 7.15: MASCARILLA

Sistemas incorporados en las pantallas de protección personal

En este caso las propias pantallas de protección ocular llevan incorporada un sistema de impulsión de aire limpio. El aire se toma del exterior, se filtra y se impulsa directamente sobre la nariz y la boca del soldador.

Sistemas de respiración

Cuando se requiere realizar el soldeo en zonas cerradas con atmósferas venenosas o irrespirables (pero no explosivas o inflamables) se puede suministrar aire a la zona de respiración del soldador desde botellas como las representadas en la figura 7.16.

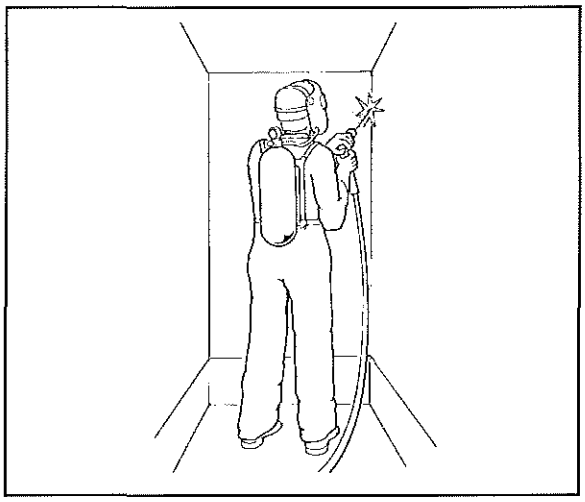


FIGURA 7.16: SISTEMAS DE RESPIRACIÓN PARA LUGARES CON ATMÓSFERAS VENENOSAS

7.4. Riesgos y Prevenciones Asociadas a las Operaciones Accesorias al Soldeo

Esmerilado

Dependiendo del trabajo se pueden utilizar esmeriladoras fijas o portátiles (ver figura 7.17). En la tabla 7.4 se indican los riesgos y prevenciones asociadas a los trabajos de esmerilado.

Riesgos	Prevenciones
- Descargas eléctricas.	- Observar las medidas de seguridad para evitar accidentes eléctricos: conexión a tierra y comprobar el buen estado de cables.
- Accidentes en los ojos.	- Trabajar SIEMPRE con gafas o pantalla de protección con cristales transparentes. - Incorporar y revisar el sistema de carenado con pantalla transparente de protección. - Aislar la zona con pantallas protectoras.

TABLA 7.4: RIESGOS Y PREVENCIONES ASOCIADAS AL ESMERILADO

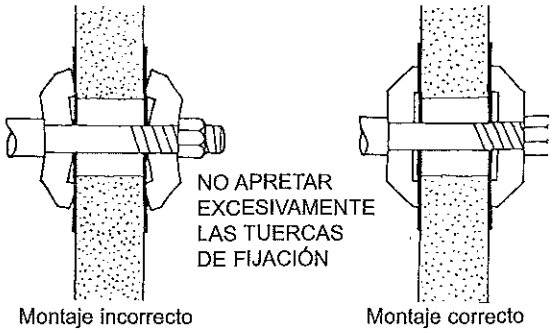
Riesgos	Prevenciones
- Escape o rotura de la muela.	- Utilizar la muela adecuada. No apretar en exceso las tuercas. 
- Quemaduras y heridas en las manos.	- Rectificar las muelas una vez montadas para evitar vibraciones. - Trabajar con guantes. - Sujetar las piezas pequeñas con útiles auxiliares.
- Aspiración de polvo y partículas.	- Utilizar un sistema de aspiración de humo adecuado.

TABLA 7.4 (CONTINUACIÓN): RIESGOS Y PREVENCIONES ASOCIADAS AL ESMERILADO

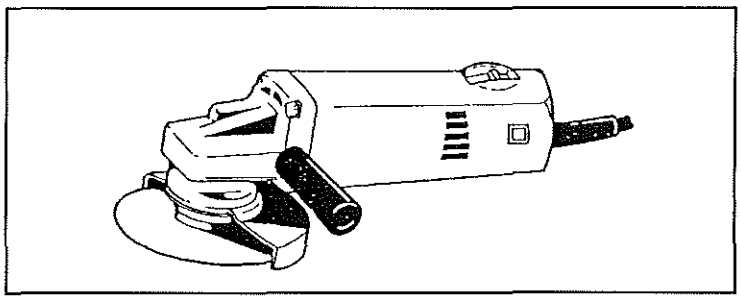
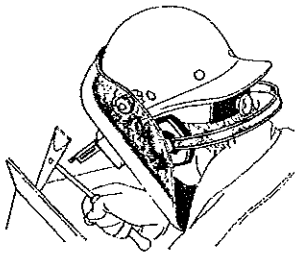


FIGURA 7.17: ESMERILADORA PORTÁTIL. RADIAL

Picado de escoria

En la tabla 7.5 se indican los riesgos y prevenciones asociadas al picado de escoria.

Riesgos	Prevenciones
- Quemaduras.	- Utilizar guantes y ropa adecuada. - Dejar enfriar la escoria.
- Heridas en los ojos.	- Utilizar SIEMPRE gafas o pantalla con cristal transparente



Eliminación de escoria con piqueta

TABLA 7.5: RIESGOS Y PREVENCIONES ASOCIADAS AL PICADO DE ESCORIA

Utilización de herramientas

Para el buen empleo de cualquier herramienta sin peligro, se debe tener presente siempre lo siguiente:

Tener las herramientas ordenadas, NUNCA revueltas.

Emplear cada herramienta para lo que está destinada.

No templar los cortafríos si no se es un experto, pueden romper con proyecciones violentas.

Mantener las herramientas en buen estado.

Capítulo 8

Procesos de Corte y Resanado

INDICE

8.1. Clasificación y definición de los procesos de corte y resanado 142

8.2. Corte y resanado con gas combustible 144

8.2.1. Fundamentos del proceso 144

8.2.2. Equipo de oxicorte 146

8.2.3. Procedimientos de corte 152

8.2.4. Recomendaciones para conseguir un corte de calidad 155

8.2.5. Resanado y biselado 157

8.3. Corte y resanado por plasma 157

8.3.1. Corte por plasma 157

8.3.2. Equipo de corte por plasma 159

8.3.3. Calidad del corte 161

8.3.4. Aplicaciones 163

8.3.5. Resanado por plasma 163

8.4. Arco-aire 164

8.4.1. Equipo para arco-aire 165

8.1. Clasificación y Definición de los Procesos de Corte y Resanado

Este capítulo está destinado a los procesos de resanado y corte, entendiéndose por resanado la eliminación de material por fusión, o quemado, para retirar defectos existentes, facilitar la consecución de soldaduras sanas o conseguir un bisel o chaflán.

Los procesos de resanado son variaciones de los de corte, por lo que se tratarán estos últimos y solamente se expondrán sobre los primeros algunos aspectos diferenciadores.

El corte de materiales se puede realizar mediante (ver figura 8.1):

- Herramientas mecánicas (sierras, cizalladoras, amoladoras, etc.)
- Corte térmico.
- Chorro de agua.

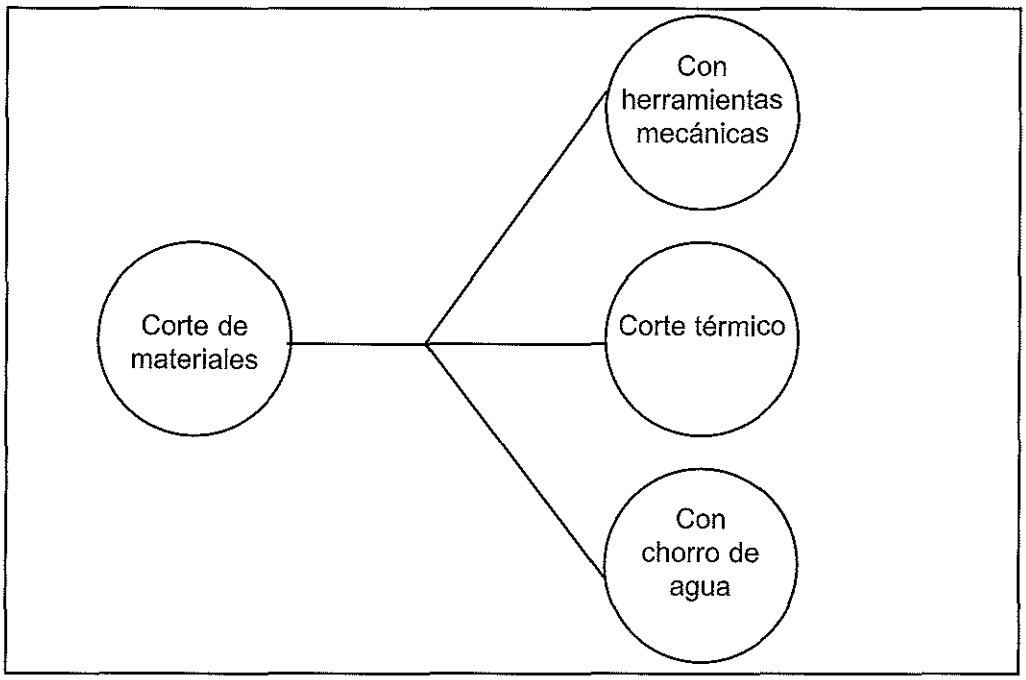


FIGURA 8.1: PROCESOS DE CORTE

El **corte térmico** en un grupo de procesos que separan o retiran el metal mediante su vaporización, fusión o combustión localizada.

Se pueden dividir en corte por oxígeno u oxicorte, corte por arco y otros tipos de corte.

El **corte por oxígeno** es un grupo de procesos que separan o retiran el metal mediante la combustión del mismo (ver figura 8.3). Los procesos de corte por oxígeno más comunes son el corte con gas combustible, corte por lanza y corte con fundente o con polvo metálico.

En los procesos de **corte por arco y en los otros procesos de corte** (corte por haz de electrones y por láser) se funde o vaporiza el metal retirándose o separándose en este estado con gran facilidad. Los procesos de corte por arco más importantes son el corte por plasma y por arco aire.

Los diferentes procesos tienen sus limitaciones y podrán ser utilizados dependiendo del tipo de material y espesor que se desee cortar.

En la tabla 8.1 se indican los materiales que se pueden cortar y sus espesores con los diferentes procesos de corte.

En la figura 8.2 se comparan la velocidad de los diferentes procesos de corte.

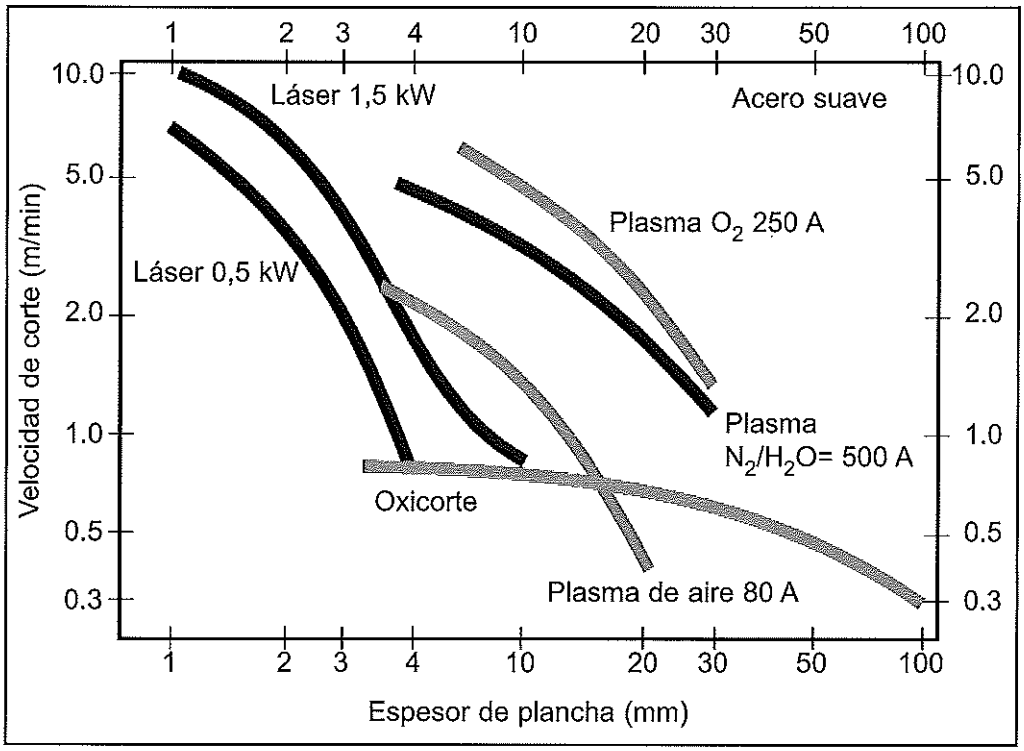


FIGURA 8.2: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE CORTE CON LÁSER, PLASMA Y OXICORTE

Proceso	Espesor de chapa (mm)	Material
Oxicorte	2[1] - 2000	Acero al carbono y de baja aleación + titanio
Corte con plasma[2]	2 - 150	Acero al carbono + acero aleados (p.e. acero inoxidable)
	0,8 - 200	Aluminio
	0,8 - 50	Cobre
Arco-Aire[2]		Todos los metales
Chorro de agua		Metales y no metales
	Hasta 190	Aceros al carbono
	Hasta 75	Aluminio
	Hasta 65	Plástico
	Hasta 250	Titanio
Láser	0,1 - 25	Acero al carbono
		Todos los materiales (metales y no metales)
Recortadora	1 - 8	Acero sin alear + acero de baja aleación
Punzonado	0,1 - 6	Acero sin alear y baja aleación
Cizalladora	1 - 25	Todos los metales

(1) Para el corte de chapas apiladas se pueden colocar láminas finas entre otras más gruesas.

(2) Sólo materiales conductores de la electricidad.

TABLA 8.1

8.2. Corte y Resanado con Gas Combustible

8.2.1. Fundamentos del proceso

El proceso de corte con gas combustible se basa en la combustión o quemado de un metal en presencia de oxígeno.

El acero no es un material combustible en condiciones atmosféricas normales. Sin embargo, si se calienta el acero a temperaturas de 900°C (temperatura de ignición) y se pone en atmósfera de oxígeno puro la reacción es totalmente distinta, en estas condiciones podemos referirnos a la combustión del acero de la misma manera que la de otras muchas materias.

No todos los metales pueden cortarse con gas combustible, las condiciones para que un material se pueda oxicortar son:

A. El metal, una vez calentado, debe quemarse en oxígeno puro y producir una escoria fluida que pueda ser desalojada fácilmente, de la hendidura del corte, por el chorro de oxígeno.

B. La temperatura de inflamación del metal (temperatura a la que comienza la combustión) debe ser inferior a su punto de fusión, pues de no ser así el metal se fundirá y el caldo fundido obstruirá la perforación del corte.

C. La capa de óxido existente en el metal ha de tener una temperatura de fusión inferior a la temperatura de fusión del metal.

D. La escoria y óxidos producidos durante el proceso deben tener baja densidad y una temperatura de fusión inferior a la del metal, con el fin de que no obstruyan el corte.

E. La conductividad térmica del metal no debe ser muy elevada.

Las anteriores condiciones sólo las cumplen el hierro, el acero al carbono y el acero de baja aleación.

Los materiales que no pueden oxicortarse son:

- Acero inoxidable, por no cumplir las condiciones C y D.
- Otros aceros de alta aleación, por no cumplir la condición D.
- El aluminio, por no cumplir la condición C.
- El cobre, por no cumplir la condición E.
- Las fundiciones, por no cumplir la condición A.

La llama de precalentamiento se produce por la mezcla de un gas combustible y oxígeno. Su función es calentar la pieza hasta la temperatura de inflamación del material y limpiar la superficie de óxidos y escorias.

El corte se realiza por el flujo de un chorro de oxígeno que quema el metal y retira la escoria formada. Debido al metal quemado y retirado se forma un canal estrecho denominado "sangría" (Ver figura 8.3).

8.2.2. Equipo de oxicorte

Está compuesto por:

- Oxígeno.
- Gas combustible.
- Reguladores de presión.
- Mangueras.
- Soplete.
- Boquillas.
- Equipo accesorio (mechero y limpiadores para las boquillas).
- Ropa y equipos de seguridad personal adecuado (ver capítulo 7).

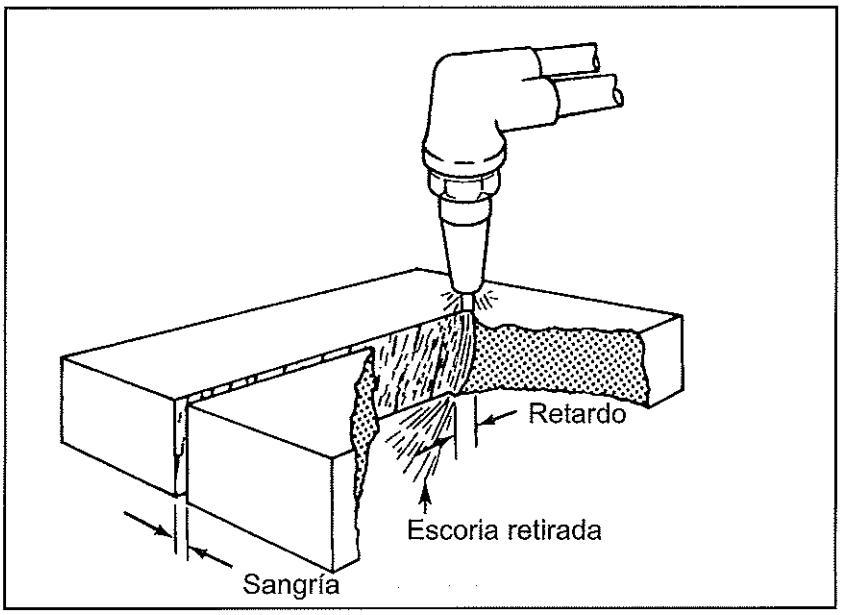


FIGURA 8.3: EL OXÍGENO DE CORTE QUEMA EL METAL PRECALENTADO Y RETIRA LA ESCORIA FORMADA, DEJANDO UN CANAL DENOMINADO "SANGRÍA"

Oxígeno

El oxígeno de alta pureza (mínimo 99,5%) se suministra desde cilindros, o botellas individuales (ver figura 7.8a), y se distribuye por medio de una red de tuberías desde un colector de cilindros (ver figura 9.3) o desde un depósito criogénico (ver figuras 7.8b y 9.3).

La pureza del oxígeno tiene gran importancia por su influencia en la velocidad de corte. Si el oxígeno fuese de una pureza del 98,5%, en lugar del 99,5%, la velocidad de corte disminuiría en un 25%.

Se deben observar las reglas de seguridad relacionadas con el empleo de botellas y depósitos de oxígeno mencionadas en el apartado 7.3.3.

Gas combustible

Los gases combustibles que más se utilizan son el gas natural, el hidrógeno, el propileno, el propano y el acetileno. Las características de la llama de precalentamiento dependen del combustible utilizado, aunque el acetileno resulta más caro que los demás gases proporciona una velocidad de corte mucho mayor, por lo que es el acetileno el gas más utilizado.

Se deben seguir las normas de seguridad relativas al empleo del acetileno indicadas en el capítulo 7.

Reguladores de presión

El regulador o manorreductor es un aparato para reducir la presión de los gases al valor adecuado al espesor a cortar, que se conecta por roscado a cada botella o a la red.

Mangueras

Sólo se deberán utilizar mangueras especialmente diseñadas para oxicorte, observándose las normas de seguridad indicadas en el capítulo 7.

Soplete

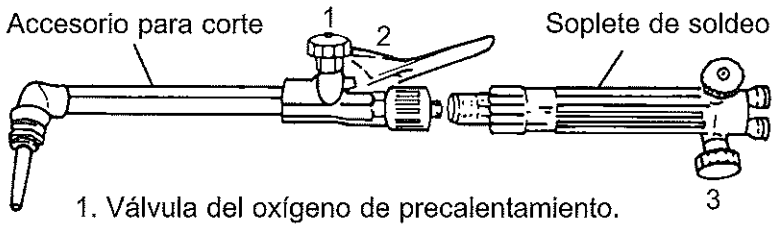
Está formado por una empuñadura estriada (en caso de soplete manual), provista de llaves para oxígeno y gas de precalentamiento y una palanca para el oxígeno de corte.

El gas de precalentamiento y el oxígeno se conducen desde los acoplamientos de las mangueras situados en el cuerpo del soporte a través de tres tubos, dos de los cuales conducen el gas combustible y el oxígeno para realizar la mezcla de la llama de precalentamiento. El tercer tubo conduce directamente el oxígeno de corte desde el acoplamiento de la empuñadura hasta el orificio central de la boquilla.

Básicamente existen tres tipos de sopletes:

- Soplete manual [ver figuras 8.4 y 8.5 (A) y (C)]
- Soplete manual compuesto (ver figura 8.4), que es un soplete formado por un mango de soplete para soldeo oxigás al que se rosca un accesorio para corte. La válvula de control de oxígeno de precalentamiento se suele situar en el accesorio de corte.

- Soplete para corte automático [ver figura 8.5 (B)]. Los tubos de distribución de gases y el cabezal donde se sitúa la boquilla suelen estar agrupados en un tubo recto adecuado para el montaje en máquina.



1. Válvula del oxígeno de precalentamiento.
2. Válvula de oxígeno de corte
3. Válvula del gas combustible

FIGURA 8.4: SOPLETE MANUAL COMPUESTO

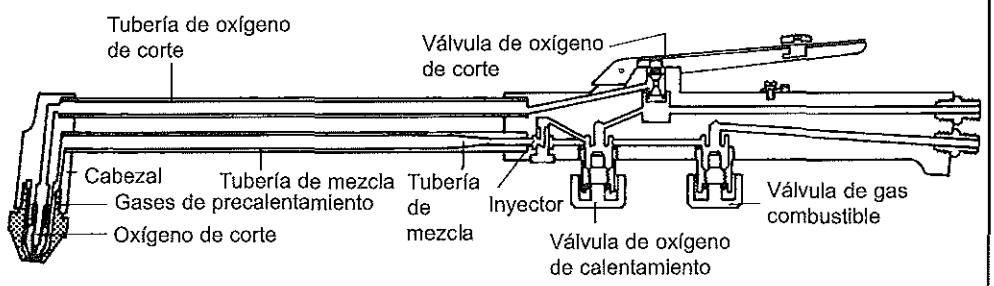
Tanto los sopletes manuales como los de corte automático pueden tener 2 ó 3 conexiones para las mangueras de los gases. Un soplete con 2 conexiones [ver figura 8.5 (A), (C) y 8.4], tiene una para el gas combustible y otra para el oxígeno tanto de corte como de precalentamiento. Los sopletes con 3 conexiones tienen entradas separadas para el oxígeno de corte, el oxígeno de precalentamiento y para el gas combustible. Se recomiendan los sopletes con 3 válvulas cuando:

- se requiere un control muy preciso sobre el oxígeno de corte y el de precalentamiento
- se requiere un volumen grande de oxígeno de precalentamiento
- se desee un control remoto.

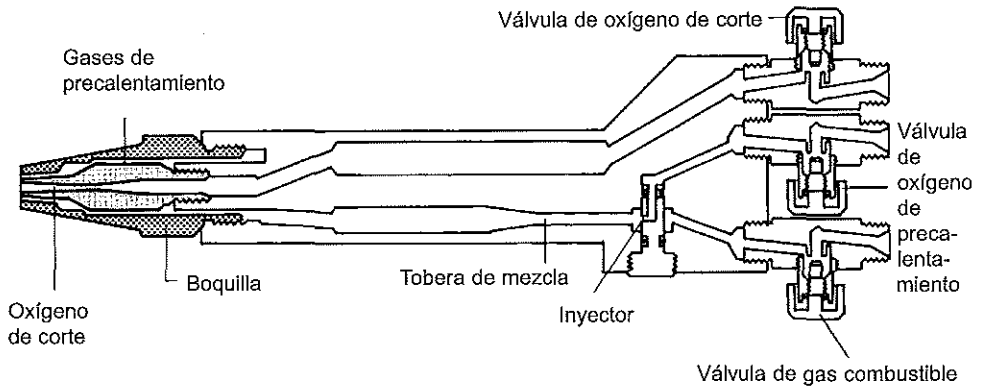
Los sopletes también se clasifican dependiendo del lugar donde se mezcla el oxígeno de precalentamiento y el gas combustible, hay dos tipos:

- En uno de ellos se realiza la mezcla en la boquilla (ver figura 8.5).
- En el otro se realiza la mezcla en una cámara que se encuentra antes de la boquilla.

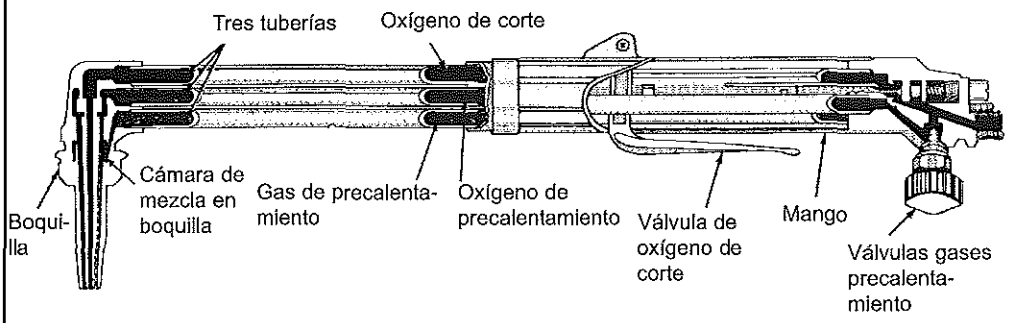
Dentro de este tipo de sopletes existen unos que tienen una cámara de mezcla normal (denominados de presión positiva o igual) y otros que tienen una cámara de mezcla en forma de inyector, denominándose sopletes de baja presión (también denominados universales o de inyector) [ver figura 8.5 (A) y (B)]. En el soplete de baja presión el combustible se suministra a muy baja presión y el oxígeno a alta presión aspira grandes cantidades de gas combustible a baja presión.



(A) Soplete para corte manual. 2 conexiones. Soplete de baja presión



(B) Soplete para corte automático. 3 conexiones. Soplete de baja presión



(C) Soplete para corte manual. 2 conexiones. Mezcla de gases en la boquilla

FIGURA 8.5: DIFERENTES TIPOS DE SOPLETES

Boquillas

Son herramientas de precisión y no se deben utilizar como martillos, ni introducirlas en la llama o en la escoria, ya que se provocaría un sobrecalentamiento y su fusión o se favorecería el retroceso de llama. Las boquillas que no se están utilizando deben estar almacenadas debidamente.

Suelen poseer varios conductos para la llama de precalentamiento dispuestos en círculo rodeando el orificio del oxígeno [ver tabla 8.2 (A)].

Las boquillas normales tienen un conducto recto para el oxígeno (ver figura 8.6) mientras que las boquillas de alta velocidad difieren en la forma de este orificio.

La forma del orificio del oxígeno no depende del tipo de combustible, sin embargo el diseño y número de orificios del gas combustible sí depende del tipo de gas combustible, ya que la cantidad de oxígeno varía con el tipo de gas. Se deberá utilizar siempre una boquilla diseñada para el gas combustible que sea utilizado.

Las boquillas que se emplean con acetileno suelen ser de una sola pieza [ver tabla 8.2 (B)], mientras que las utilizadas con otros gases pueden ser de una o de dos piezas [ver tabla 8.2 (C), (D) y (E)].

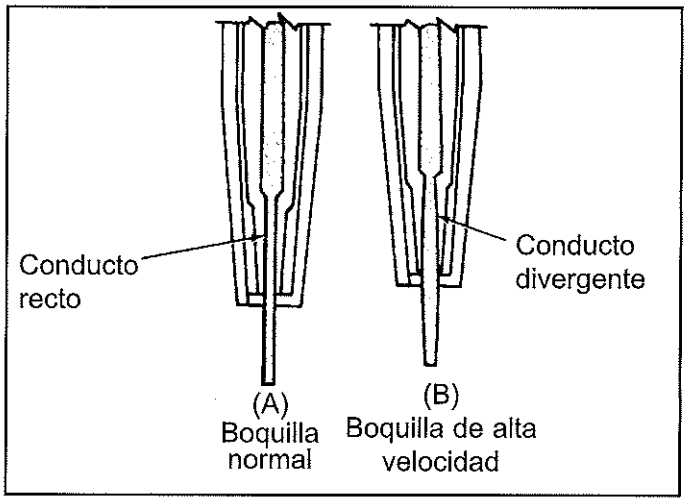


FIGURA 8.6: TIPOS DE BOQUILLA PARA OXICORTE

Mantenimiento de las boquillas de corte

Para limpiar los orificios de la boquilla de salida del gas combustible y los normales de oxígeno (ver figura 8.6) se utilizan escariadores o baquetas de diferentes diámetros que deberán ajustarse a los orificios sin forzarlos. Antes de proceder a la limpieza se deberá quitar la boquilla para evitar introducir partículas

sólidas en el soplete. Se deben limpiar los orificios uno a uno desde el extremo de salida hacia la boquilla. Las boquillas de dos piezas pueden limpiarse por simple cepillado después de extraer la pieza interior. Para limpiar los orificios de oxígeno de las boquillas de alta velocidad (ver figura 8.6) se recomienda el empleo de herramientas especiales.

El extremo de salida de gases se debe limpiar mediante lijado suave y cuidadoso que permita eliminar exclusivamente la suciedad. Cada vez que se realice esta operación se deberá, posteriormente, limpiar los orificios de los gases.

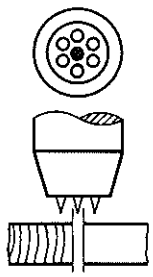
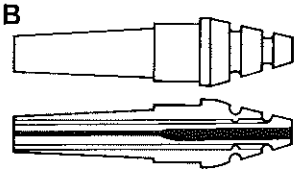
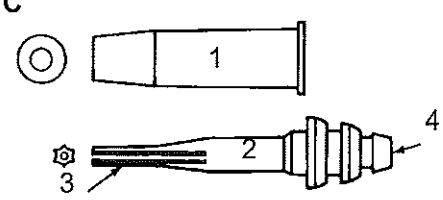
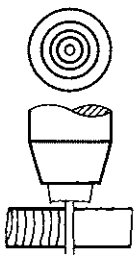
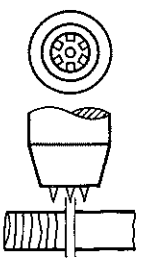
Boquillas normales de una sola pieza Varios conductos para la llama de precalentamiento rodeando un conducto de oxígeno.	A  ○ Mezcla de gas combustible y oxígeno ● Oxígeno de corte B  ■ Conducto de oxígeno de corte □ Conducto de gases de precalentamiento
Boquillas de dos piezas	C  1. Pieza exterior 2. Pieza interior 3. Rebajes para llama de precalentamiento 4. Conducto para oxígeno D  E 

TABLA 8.2: TIPOS DE BOQUILLAS

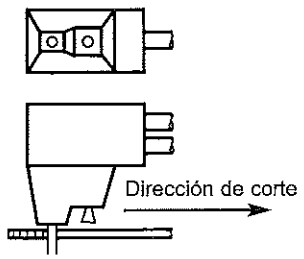
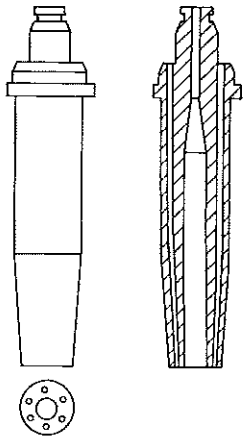
Boquillas para corte de chapas finas El calentamiento producido es muy pequeño y no produce la fusión del material.	F 
Boquillas para eliminación de óxidos	G 

TABLA 8.2 (CONTINUACIÓN): TIPOS DE BOQUILLAS

8.2.3. Procedimiento de corte

En los sopletes normales se suele abrir primero la válvula de acetileno, se enciende y luego se abre la válvula del oxígeno de precalentamiento hasta obtener la llama adecuada. En los sopletes de baja presión con tobera o inyector para la mezcla, se abre la válvula del acetileno y la del oxígeno ligeramente, se enciende la mezcla y luego se ajusta la llama con la válvula del oxígeno. También se puede utilizar esta técnica con los sopletes normales.

Siempre se deben seguir las instrucciones del fabricante y utilizar encendedor de chispas (chispero).

Después de apagar la llama, cerrando las válvulas de acetileno y oxígeno y cerrando las válvulas de los cilindros, se debe abrir la válvula del acetileno para

dejar salir el gas encerrado en el soplete y las mangueras, cerrar la válvula y repetir la operación con el oxígeno.

Ajustar la llama de precalentamiento es muy importante, ésta puede ser oxidante, reductora o neutra, la oxidante se puede utilizar para acelerar el proceso a costa de disminuir un poco la calidad, la llama reductora se suele utilizar cuando se desea un buen acabado y para corte de piezas apiladas de bajo espesor. La llama neutra, es la más usual. En el apartado 9.6.3 se indican los colores de la llama dependiendo de su tipo.

Para empezar el corte se pueden emplear varios métodos:

Se puede situar la mitad de la llama de precalentamiento con el cono entre 1,5 y 3 mm sobre la superficie del material, cuando el extremo tome un color rojizo se deja salir el oxígeno de corte empezando así el proceso (ver figura 8.7).

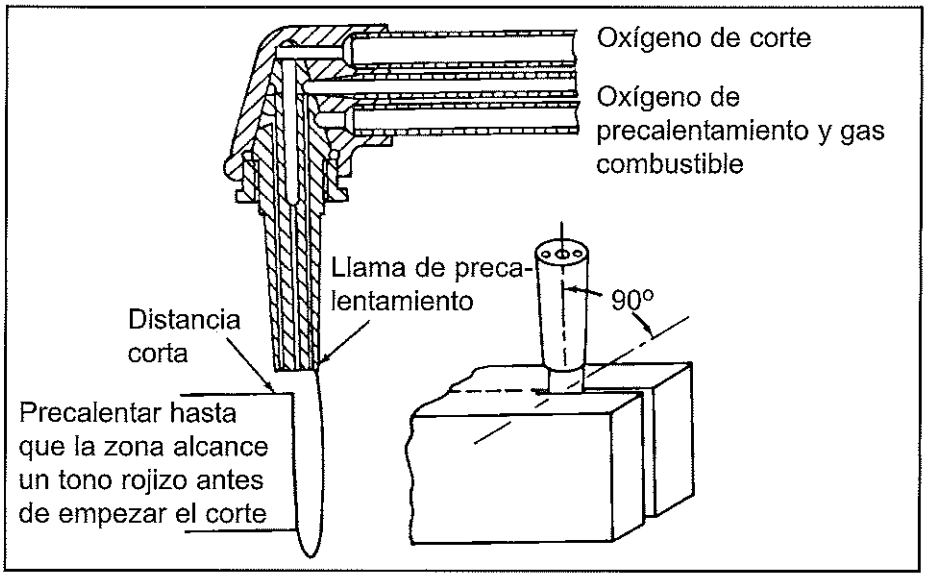

Oxígeno de corte
Oxígeno de precalentamiento y gas combustible
Llama de precalentamiento
90°
Distancia corta
Precalentar hasta que la zona alcance un tono rojizo antes de empezar el corte

FIGURA 8.7: MÉTODO PARA EMPEZAR EL CORTE

Otro método es poner la llama de precalentamiento totalmente encima de la chapa, se mueve la llama de precalentamiento en la dirección del corte sobre la línea del corte, avanzando y retrocediendo una distancia corta, y cuando se alcanza la temperura de inflamación se abre el oxígeno de corte. Este último método tiene ciertas ventajas sobre el anterior ya que no redondea el borde de comienzo de corte.

No se recomienda comenzar directamente con el oxígeno de corte abierto, ya que de esta forma se malgasta el oxígeno.

Al abrir el oxígeno de corte se mueve el soplete sobre la línea de corte, llevando una velocidad adecuada y manteniendo una distancia sobre la chapa constante. Se deberá sujetar el soplete con ambas manos, en el caso de no tener ruedas se apoyará en la chapa la mano que no controle el oxígeno de corte.

Se recomienda marcar sobre la pieza la línea de corte. Cuando se realizan cortes muy largos puede ser necesario parar el proceso y volver a iniciarlo, esto producirá un agujero en cada punto de reencendido que se podrá evitar realizando el encendido dentro de la parte que se vaya a desechar.

Para chapas de espesores mayores de 13 mm la llama debe situarse perpendicular a la chapa, para espesores menores se puede inclinar en el sentido de corte, así se acelera y mejora el corte (ver figura 8.8).

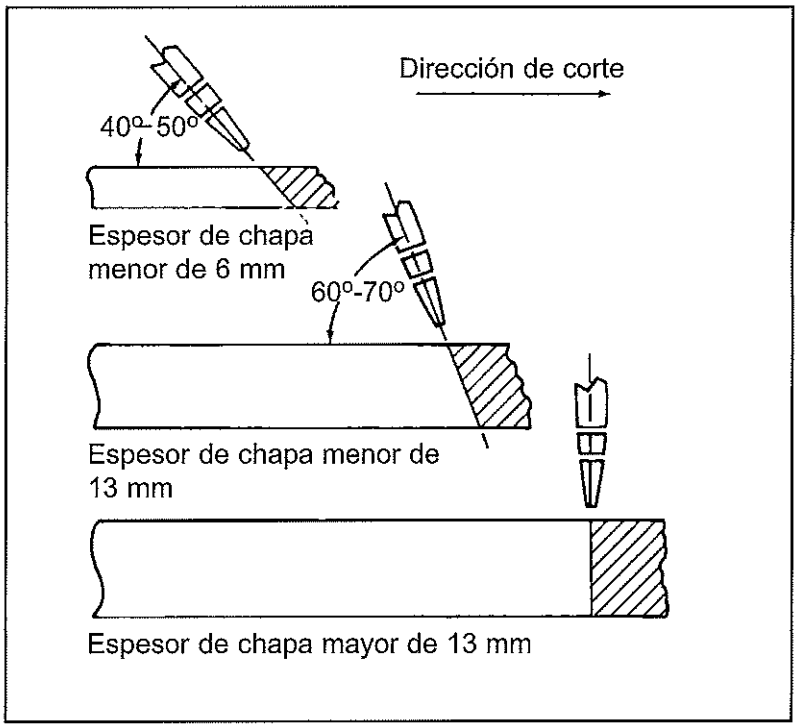

Dirección de corte
40º-50º
Espesor de chapa menor de 6 mm
60º-70º
Espesor de chapa menor de 13 mm
Espesor de chapa mayor de 13 mm

FIGURA 8.8: ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL SOPLETE DEPENDIENDO DEL ESPESOR

Para conseguir cortes rectos se puede utilizar una chapa como regla-guía. Cuando la chapa a cortar esté en posición vertical se debe llevar un movimiento ascendente. El oxígeno de corte debe abrirse lentamente.

El movimiento sobre la línea de corte debe ser primero lento y luego más rápido, pues el material se va calentando.

8.2.4. Recomendaciones para conseguir un corte de calidad

- Seleccionar el tamaño de la boquilla en función del espesor de la pieza que se desea cortar.
- Elegir la presión de oxígeno recomendada para dicha boquilla.
- Empezar a cortar con una velocidad no muy alta.
- Incrementar la velocidad hasta conseguir la mejor combinación entre rapidez de trabajo y calidad.
- Se puede reconocer un corte de calidad por el ruido y por la no existencia de escoria en el corte.
- No se deberá seleccionar una presión ni una boquilla mayor que las recomendadas. Tampoco seleccionar una presión más baja. El corte eficaz se basa en seleccionar la presión y boquilla justas y una velocidad de 25 a 75 mm/min menor que el máximo recomendado.

Siempre que se oxicorte una pieza se deseará que la superficie oxicortada sea regular, sin embargo su consecución no es siempre posible. La observación de las superficies permitirá conocer los fallos cometidos y la forma de corregirlos.

Cualquier superficie oxicortada queda con unas líneas denominadas líneas de retardo [ver tabla 8.3 (B) y figura 8.3], cuanto más curvadas estén estas líneas en la parte inferior de la pieza más rápido se ha realizado el corte.

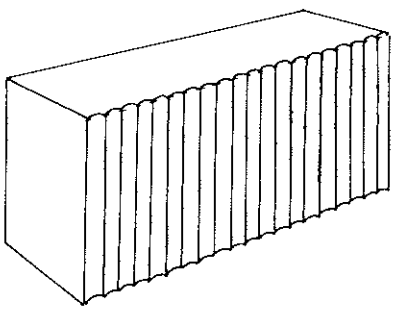
Causas	Fallo
Velocidad de desplazamiento durante el corte muy baja.	Rugosidad de la superficie de corte muy marcada. **(A)** 

TABLA 8.3: DEFECTOLOGÍA DE LAS SUPERFICIES OXICORTADAS

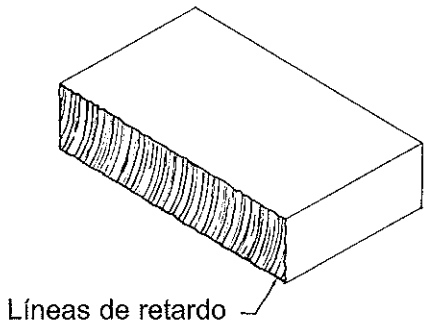
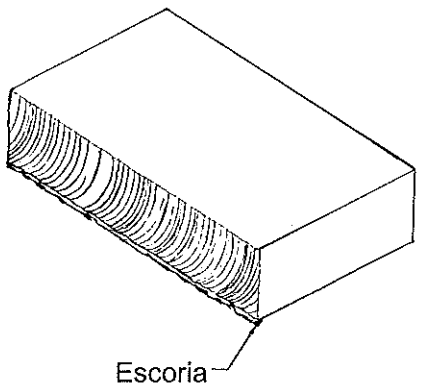
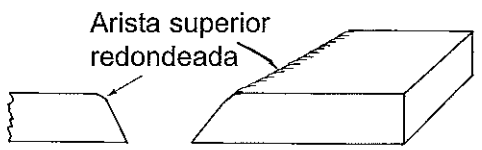
Causas	Fallo
Velocidad de desplazamiento durante el corte elevada. Las líneas de retardo quedarán más curvadas cuanto más rápido sea el corte.	Línea de retardo. **(B)** 
Excesiva velocidad de corte que no permite que la escoria sea expulsada de la pieza quedándose adherida. En este caso las líneas de retardo estarán muy curvadas en su parte inferior. Boquilla sucia: La suciedad, escoria u óxidos en la boquilla producen una desviación del oxígeno de corte que provoca una superficie muy irregular y escoria adherida.	**(C)** 
Velocidad de corte demasiado baja. A medida que disminuye la velocidad de corte aparecen también canales o huellas de corte muy profundas. Exceso de precalentamiento. Boquilla demasiado lejos de la chapa.	Arista superior redondeada. **(D)** 

TABLA 8.3 (CONTINUACIÓN): DEFECTOLOGÍA DE LAS SUPERFICIES OXICORTADAS

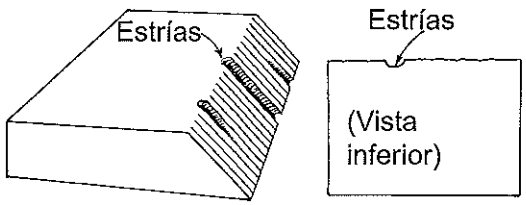
Causas	Fallo
Demasiado oxígeno de corte. Una vez realizado el corte limpio de la parte superior el oxígeno resultante creará estrías en la zona inferior de la pieza; a medida que se ajusta adecuadamente el oxígeno las estrías quedan más en la zona inferior. Se puede corregir aumentando la velocidad de corte o disminuyendo la dimensión de la boquilla.	Estrías. **(E)** 

TABLA 8.3 (CONTINUACIÓN): DEFECTOLOGÍA DE LAS SUPERFICIES OXICORTADAS

8.2.5. Resanado y biselado

Se puede utilizar el corte con gas combustible para resanar, preparar piezas con bisel o preparar chaflanes en V o en J (ver figura 8.9).

Generalmente el resanado requiere el empleo de boquillas especiales, además se deberá manipular el soplete con el ángulo y velocidad adecuados.

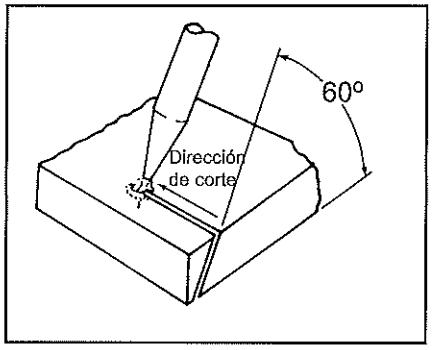


FIGURA 8.9: ACHAFLANADO

8.3. Corte y Resanado por Plasma

8.3.1. Corte por plasma

Con este proceso se pueden obtener cortes de elevada calidad a alta velocidad,

además la calidad no sólo se nota desde el punto de vista de la forma de los bordes, sino desde el punto de vista metalúrgico ya que sólo se afecta una zona estrecha, alrededor del corte, en comparación con otros procesos.

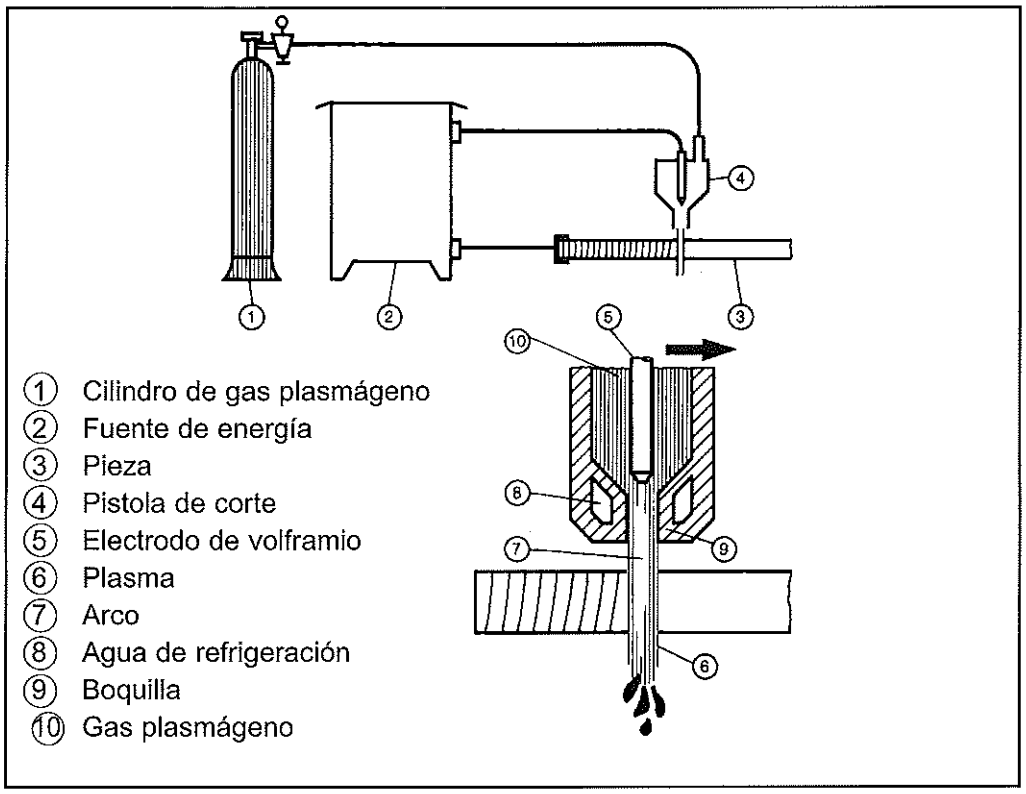


FIGURA 8.10: CORTE POR PLASMA

En el corte por plasma se establece un arco eléctrico ionizándose el gas circundante, como ocurre en el proceso de soldeo TIG, pero el plasma obtenido se estrangula haciéndolo pasar por una tobera de pequeño diámetro, de forma que el plasma se mueve a velocidades muy grandes obteniéndose un chorro de plasma a alta temperatura, del orden de 20000 ºC, y gran velocidad que es capaz de fundir el material a cortar y retirar las escorias y óxidos formados.

Otra característica del arco plasma es la estabilidad direccional de la columna de plasma, independiente de las corrientes de aire o campos magnéticos, ya que el plasma sale a velocidades muy elevadas.

Los principales gases que se utilizan como gases plasmágenos, es decir que se pueden convertir en plasma, son: Argón, Hidrógeno, Nitrógeno, Aire o mezclas de estos gases.

Con este método se pueden obtener velocidades de corte muy elevadas; se emplea para el corte de metales de 2 a 15 mm, aunque se pueden cortar espesores de hasta 200 mm, al aumentar el espesor el corte pierde algo de calidad.

Se puede utilizar de forma manual o mecanizada y en todas las posiciones. También se puede emplear para el achaflanado de bordes.

8.3.2. Equipo de corte por plasma

Los elementos necesarios de un **equipo** de corte por plasma son los siguientes (ver figura 8.10):

- Fuente de energía: Normalmente es un transformador–rectificador trifásico. Debe tener una tensión en vacío elevada, alrededor de los 100 a 400 V. Deben ser específicos para corte por plasma y tener una característica de intensidad constante.
- Distribuidor de gas: Está alimentado por botellas de gas comprimido, permitiendo mezclas de gases de distinta naturaleza y proporción.
- Generador de alta frecuencia: Se utiliza para ionizar parcialmente el gas.
- Portaelectrodo: La misión del portaelectrodo es producir un plasma de forma continua y expulsarlo hacia la pieza a cortar. En esencia el portaelectrodo está formado por:
  - Una cámara cilíndrica (boquilla) provista en su extremidad de una pieza con un taladro central, que tiene como misión contraer el chorro del plasma aumentando así su temperatura central y su velocidad. Es importante utilizar la corriente adecuada para evitar el doble arco que producirá el fallo de la boquilla. Con doble arco se establece un arco entre el electrodo y la boquilla y otro de la boquilla a la pieza.
  - Un electrodo de volframio o circonio, en función del gas a utilizar; el electrodo de volframio será puntiagudo como el utilizado para el soldeo TIG, mientras que el de circonio o hafnio será plano y embutido en cobre.

En la figura 8.11 muestra el esquema básico del circuito de corte.

En el corte con plasma convencional se emplea un arco transferido, que significa que el arco se establece entre el electrodo y la pieza. Esto no es posible cuando comienza el proceso, ya que no se ha ionizado aún el gas. Por ello, para iniciar el proceso un generador de alta frecuencia produce primero un arco piloto entre el electrodo y la boquilla de gas. El arco piloto calienta el gas plasmágeno y

lo ioniza. En este momento el arco piloto se apaga automáticamente y se estabiliza el arco plasma.

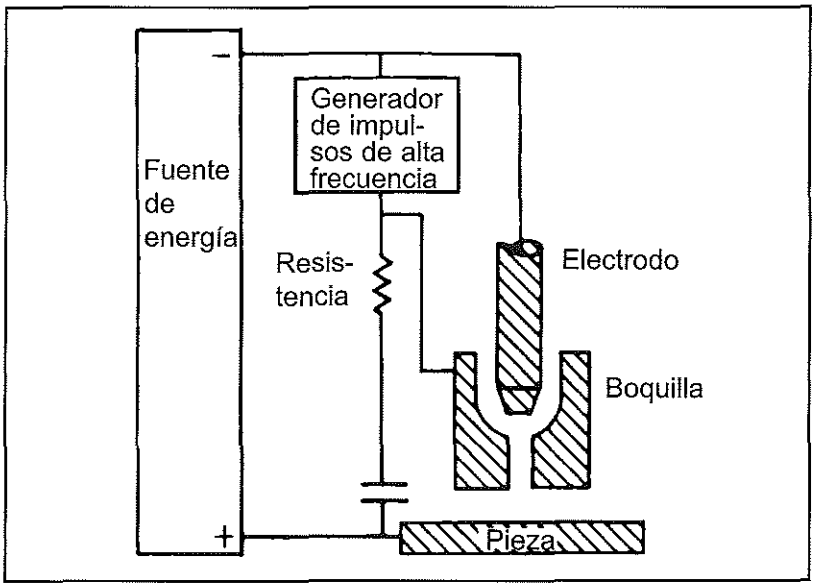


FIGURA 8.11: EQUIPO PARA EL CORTE POR PLASMA

Control de la contaminación

El proceso de corte por plasma genera gran cantidad de humos y un nivel de ruido muy elevado, con objeto de aminorarlo se utilizan mesas de agua como las de la figura 8.12.

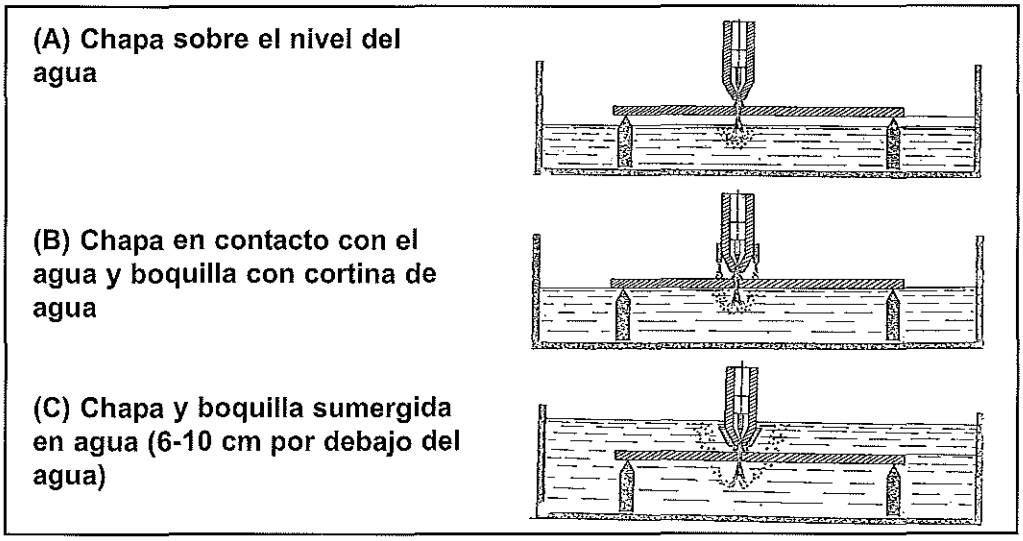

(A) Chapa sobre el nivel del agua
(B) Chapa en contacto con el agua y boquilla con cortina de agua
(C) Chapa y boquilla sumergida en agua (6-10 cm por debajo del agua)

FIGURA 8.12: CORTE POR PLASMA CON MESA DE AGUA

8.3.3. Calidad del corte

Se deben considerar cuatro factores a la hora de evaluar la calidad de una superficie cortada por plasma. Éstos son: el ángulo de corte, la cascarilla, consideraciones metalúrgicas y la anchura de la sangría.

Ángulo de corte

Cuando se utiliza el corte por plasma con inyección de agua hay que tener en cuenta que una de las aristas de corte queda muy perpendicular mientras que la otra queda con una cierta desviación angular (ver figura 8.13).

Si la pistola se mueve en el sentido de las agujas del reloj el borde de la derecha (visto desde la pistola) quedará recto. Esta característica ha de tomarse en cuenta para beneficiarse de ella. (ver figura 8.14).

También existen pistolas en las que el borde que queda recto es el de la izquierda si la pistola se mueve en sentido de las agujas del reloj.

Para conseguir una superficie de corte de buena calidad se debe mantener la pistola perpendicular a la pieza y se debe controlar que la distancia entre la boquilla y la pieza sea constante y la adecuada.

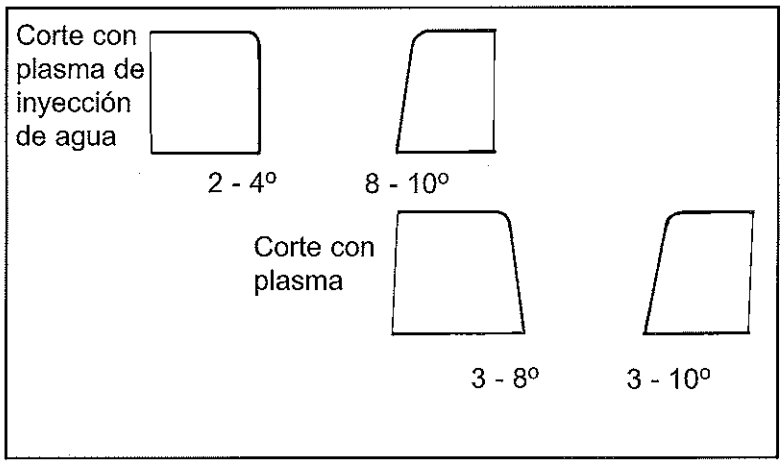


FIGURA 8.13: INCLINACIÓN DE LAS SUPERFICIES CORTADAS POR PLASMA

Cascarilla

La cascarilla es óxido de metal cortado que ha solidificado y se adhiere a la parte inferior de la pieza. La formación de cascarilla está muy influenciada por la velocidad de corte y la intensidad utilizada. En la mayoría de los materiales existe

un rango de velocidades de corte con el que no se produce cascarilla, este rango se hace más grande al utilizar intensidades mayores. Si la intensidad es demasiado baja puede que no exista el rango de velocidades en el que no se forma cascarilla. Sin embargo, si no se consigue encontrar el rango de "no cascarilla" se recomienda utilizar bajas intensidades ya que la cascarilla que se formará será más fácil de retirar.

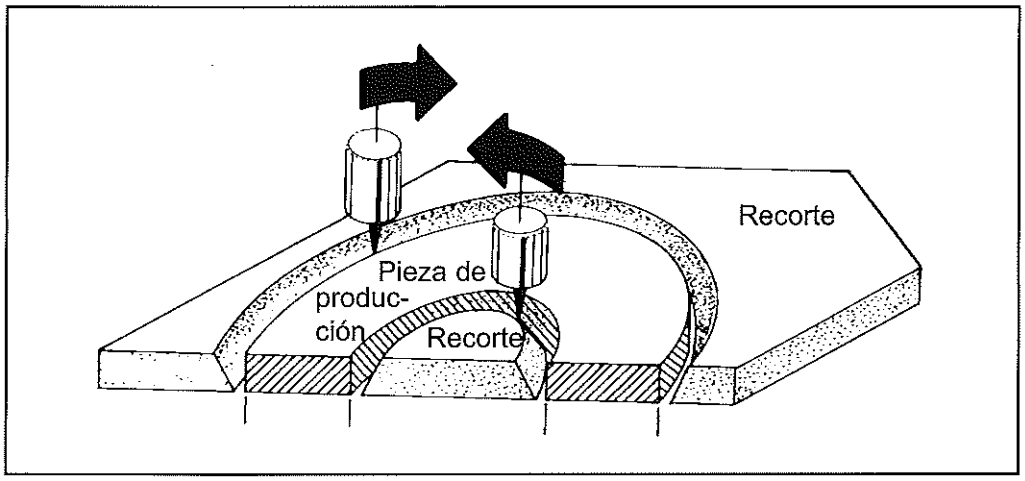


FIGURA 8.14: DIRECCIÓN DE CORTE POR PLASMA CON INYECCIÓN DE AGUA

El rango de "no cascarilla" en los aceros inoxidables y las aleaciones de aluminio es bastante amplio, sin embargo en las aleaciones de níquel (Ni-Cu ó Ni-Cr-Fe) y aleaciones de cobre se suele formar cascarilla con bastante facilidad. La situación de los aceros al carbono es intermedia.

También hay que tener en cuenta el espesor de la pieza a cortar, ya que cuanto mayor sea éste mayor es la facilidad de formación de cascarillas.

Consideraciones metalúrgicas

El corte por plasma produce una zona afectada térmicamente muy estrecha por lo que la calidad metalúrgica es muy buena. Sin embargo, se deberán tener en cuenta las consideraciones específicas de cada material, por ejemplo un acero templable deberá precalentarse.

Si se cortan piezas curvadas de acero se recomienda situar la pistola sobre la parte más estirada de la pieza. En la figura 8.15 se representa una tubería que se preferirá realizar el corte desde A, ya que si se realiza desde B se pueden formar grietas con más facilidad.

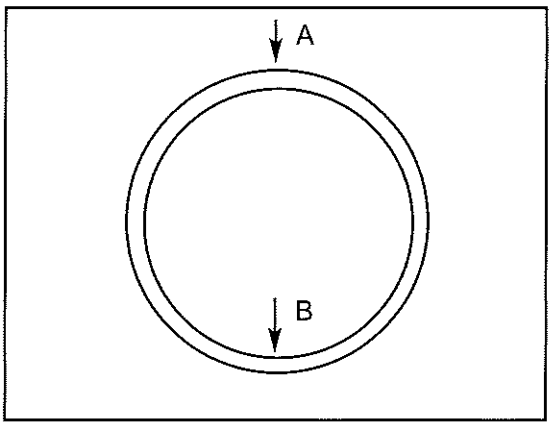


FIGURA 8.15: PIEZAS CURVADAS. REALIZAR EL CORTE PREFERENTEMENTE SOBRE LA ZONA A

Anchura de la sangría

Es importante tenerla en cuenta ya que, generalmente, es de 1,5 a 4 veces mayor que la obtenida en el oxicorte (figura 8.3).

8.3.4. Aplicaciones

Como medio plasmágeno se puede utilizar cualquier gas o mezcla de gases, con tal de que no perjudiquen ni al electrodo de volframio ni a la pieza a cortar. A modo de ejemplo se indican los siguientes tipos. (Tabla 8.4).

8.3.5. Resanado por plasma

Es una adaptación del corte por plasma; con este proceso se consigue una superficie brillante y limpia mejor que la conseguida con otros procesos de resanado, particularmente con las aleaciones de aluminio y con el acero inoxidable ya que normalmente no se requiere limpieza posterior al resanado y previa al soldeo.

El equipo y la pistola son los mismos que los de corte. Se utilizará con una longitud de arco mayor y con un ángulo de 30° respecto a la horizontal, la profunidad del resanado depende de la velocidad de trabajo. Como gas plasmágeno se utiliza normalmente argón + 35-4% hidrógeno, el gas secundario, cuando se emplee, será argón, nitrógeno o aire.

Gas de corte	Gas de protección o gas secundario	Aplicaciones	Observaciones	Velocidad de corte	Calidad de corte
Aire	Aire	Cualquier metal que admita sus efectos secundarios como la oxidación o inclusión de nitrógeno. Por ejemplo acero al carbono	Muy económico	Alta	Media
Nitrógeno + Oxígeno	Aire	Acero al carbono y acero aleado. Corta mayores espesores que el proceso anterior. No recomendable para acero inoxidable, cobre y aluminio	Ideal para chapas de 4 a 8 mm	Más alta que en el proceso anterior	Alta, Cortes libres de escorias y rebabas
Argón + Hidrógeno	Nitrógeno	Aceros inoxidables. Cobre y aluminio	Espesores medios	Baja	Alta
Nitrógeno	Agua	Corta cualquier metal	Es el proceso más utilizado	Alta	Media
Oxígeno	Agua	Apropiado para aceros al carbono, industria naval y estructuras		Más alta que el proceso anterior	

TABLA 8.4: GASES UTILIZADOS PARA EL CORTE POR PLASMA DE DIVERSOS MATERIALES

8.4. Arco-Aire

Se trata de un proceso de eliminación de material que utiliza simultáneamente aire comprimido y el calor producido por un arco eléctrico que se establece entre un electrodo de carbón y la pieza metálica que se quiere cortar.

El aire comprimido, dirigido paralelamente al electrodo, expulsa el metal fundido que se ha originado por la acción del arco eléctrico consiguiéndose de esta manera el corte.

El proceso arco-aire puede ser utilizado con todos los metales y aleaciones, tales como los aceros ordinarios, los aceros inoxidables, las fundiciones, el cobre, etc. tanto de forma manual como automatizada.

Este proceso está especialmente indicado para el desguace, ranurado, corte, achaflanado antes del soldeo y resanado de soldaduras defectuosas.

En la operación de arco-aire se introduce carbono en el metal base, por lo que cuando se utilice este proceso en los aceros inoxidables se deberán esmerilar los bordes cortados para eliminar la capa carburada que se obtiene tras su aplicación.

8.4.1. Equipo para arco-aire

En el proceso arco-aire se emplean los siguientes elementos (ver figura 8.16): compresor de aire, fuente de energía, portaelectrodo y electrodo.

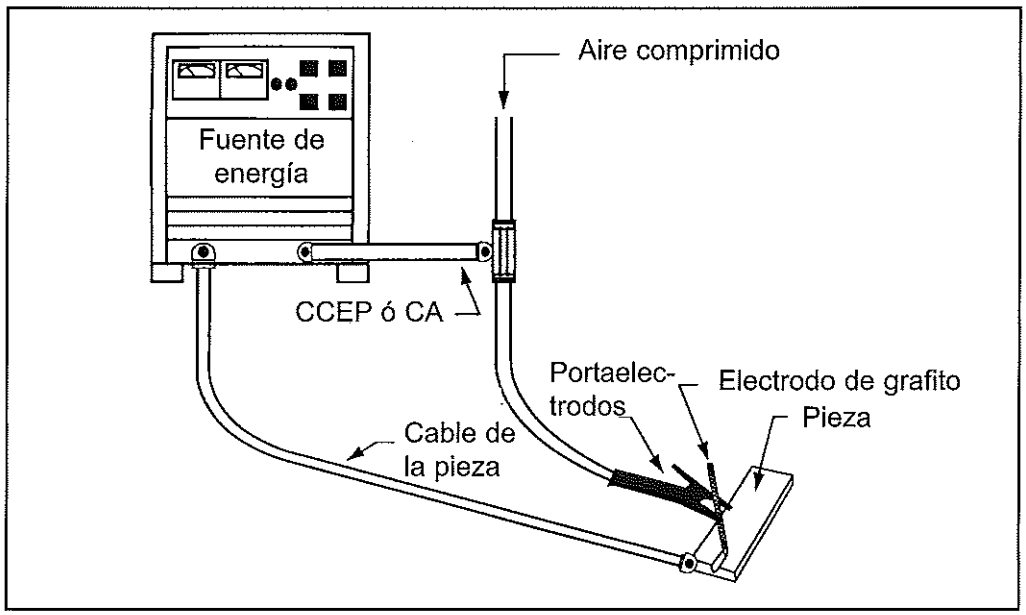


FIGURA 8.16: EQUIPO DEL PROCESO ARCO-AIRE

Equipo de aire comprimido

Se utilizará un compresor para el suministro del aire comprimido, se puede

utilizar nitrógeno o gas inerte cuando no sea posible el suministro de aire comprimido, pero no se debe utilizar oxígeno. Con los portaelectrodos normalmente empleados, se recomienda una presión de trabajo del aire comprimido de 6 Kg/cm^2. Si esta presión baja, a menos de 5 Kg/cm^2, el funcionamiento no es correcto.

El caudal de aire varía, en función del tipo de portaelectrodos empleado, entre 700 a 1000 litros/minuto.

Fuente de energía

Normalmente se utilizará corriente continua polaridad inversa (electrodo conectado al positivo), puede utilizarse corriente alterna pero el proceso será menos eficaz.

Se recomiendan las fuentes de corriente continua de intensidad constante. La fuente deberá poseer una tensión de vacio de al menos 60 Voltios.

Portaelectrodo

El útil principal del proceso arco-aire lo constituye su portaelectrodo especial.

Este elemento es de aspecto exterior muy parecido al portaelectrodos utilizado en el soldeo por arco con electrodos revestidos.

El portaelectrodo está alimentado por corriente eléctrica procedente de la fuente de energía a través de un cable y por el aire comprimido a través de una manguera. El chorro de aire sale paralelamente al electrodo por unos orificios que se encuentran en el cabezal, formando parte de una plaquita giratoria que permite orientar el electrodo y, a la vez, que el chorro de aire salga paralelo a éste por su parte inferior. En el mango tienen un botón para regular la válvula de salida de aire.

Electrodos

Los electrodos son de grafito, recubiertos de una fina capa de cobre. La capa de cobre facilita el paso de la corriente eléctrica además de evitar la erosión del electrodo que se originaría por el chorro de aire.

El electrodo podrá moverse de derecha a izquierda o viceversa, pero siempre el aire deberá circular por debajo del electrodo y paralelo a él, además siempre se deberá posicionar hacia adelante. El ángulo de inclinación dependerá de la profundidad que se desee obtener, cuanto mayor sea el ángulo de inclinación respecto a la pieza mayor será la profundidad del corte o surco.

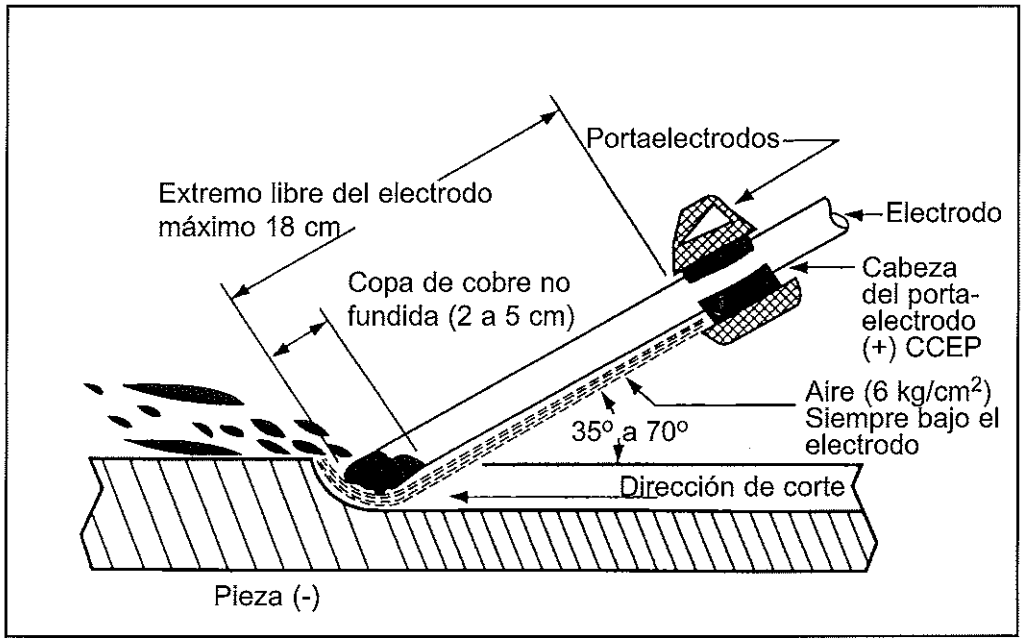


FIGURA 8.17: ELECTRODO PARA ARCO-AIRE

Capítulo 9

Soldeo Oxigás

INDICE

9.1. Principios del proceso 171

9.1.1. Descripción y definiciones 171

9.1.2. Ventajas y limitaciones 171

9.1.3. Aplicaciones 172

9.2. Gases empleados en el soldeo oxigás 172

9.3. Equipo de soldeo oxiacetilénico 173

9.3.1. Oxígeno y acetileno 174

9.3.2. Manorreductores 176

9.3.3. Mangueras 177

9.3.4. Soplete 177

9.3.5. Válvulas antirretroceso de llama 180

9.4. Varillas de aportación y fundentes 180

9.5. Zonas características de la llama oxiacetilénica 182

9.6. Técnicas operativas 183

9.6.1. Preparación de la unión.....183
9.6.2. Utilización del equipo de soldeo.....184
9.6.3. Regulación de la llama oxiacetilénica.....186
9.6.4. Técnicas de soldeo 188
9.7. Defectos típicos de las soldaduras 190

9.1. Principios del Proceso

9.1.1. Descripción y definiciones

El soldeo oxigás es un proceso de **soldeo por fusión** que utiliza el calor producido por una llama, obtenida por la combustión de un gas con oxígeno, para fundir el metal base y, si se emplea, el metal de aportación.

Para conseguir la combustión, se necesita:

- Un gas combustible (acetileno, propano, gas natural...)
- Un gas comburente (oxígeno).

Cuando se suelda con metal de aportación, éste se aplica mediante una varilla con independencia de la fuente de calor, lo que constituye una de las principales **características** del procedimiento.

En cuanto a la **protección** del baño de fusión la realizan los propios gases de la llama, aunque en algún caso es necesario recurrir al empleo de desoxidantes.

Los diferentes nombres que se le dan a este proceso son:

- 31, soldeo oxigás (UNE-EN ISO 4063)
- OFW, Oxy-fuel gas welding (ANSI/AWS A3.0)

Si se utiliza acetileno como gas combustible el proceso se denomina:

- 311, soldeo oxiacetilénico (UNE-EN ISO 4063)
- OAW, Oxy-acetilene welding (ANSI/AWS A3.0)

9.1.2. Ventajas y limitaciones

Ventajas

- El soldador tiene control sobre la fuente de calor y sobre la temperatura de forma independiente del control sobre el metal de aportación.
- El equipo de soldeo necesario es de bajo coste, normalmente portátil y muy versátil ya que se puede utilizar para otras operaciones relacionadas con el soldeo, como oxicorte, pre y postcalentamiento, enderezado, doblado, recargue, soldeo fuerte y cobresoldeo, con sólo cambiar o añadir algún accesorio.

Limitaciones

- Se producen grandes deformaciones y grandes tensiones internas causadas por el elevado aporte térmico debido a la baja velocidad de soldeo.
- El proceso es lento, de baja productividad y destinado a espesores pequeños exclusivamente, ya que aunque se puede realizar el soldeo de grandes espesores resulta más económico para éstos el soldeo por arco eléctrico.

9.1.3. Aplicaciones

Las ventajas enunciadas hacen que el soldeo oxigás sea particularmente indicado para:

- Pequeñas producciones.
- Pequeños espesores.
- Trabajos en campo.
- Soldaduras con cambios bruscos de dirección o posición.
- Reparaciones por soldeo.

Por este proceso pueden soldarse la mayoría de los metales y aleaciones férreas y no férreas, con la excepción de los metales refractarios, que son los que pueden utilizarse a altas temperaturas (volframio, molibdeno y tantalio) y de los activos (titanio, circonio).

9.2. Gases Empleados en el Soldeo Oxigás

Como **gas comburente** se emplea el oxígeno ya que si se utilizara aire las temperaturas alcanzadas serían del orden de 800 a 1000 °C menores que las que se consiguen con oxígeno.

Como **gas combustible** se podría emplear hidrógeno, gas natural, propano o cualquier otro gas combustible (butano, propileno...), sin embargo se prefiere el empleo del acetileno porque con oxígeno se consigue una llama de mayor tempertura que aporta mayor calor que con cualquier otro gas (ver figura 9.1). Para conseguir una temperatura elevada con cualquier otro gas es necesario emplear una llama muy oxidante (con mayor cantidad de oxígeno que de gas combustible), que no es la más adecuada para conseguir soldaduras sanas con la mayoría de los metales.

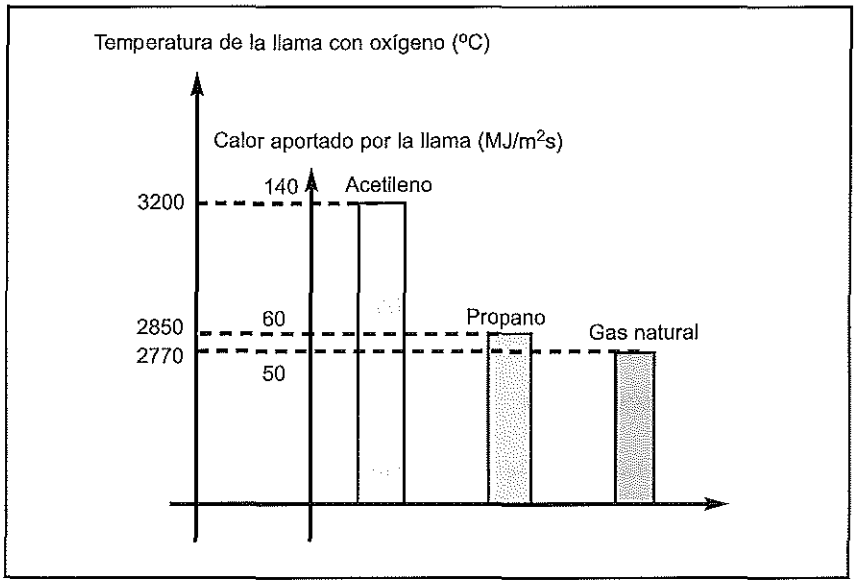


FIGURA 9.1: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS GASES COMPRIMIDOS

9.3. Equipo de Soldeo Oxiacetilénico

La principal función de los equipos de soldeo oxiacetilénico es suministrar la mezcla de gases combustible y comburente a una **velocidad, presión y proporción** adecuadas. El equipo oxiacetilénico está formado por (ver fig.9.2):

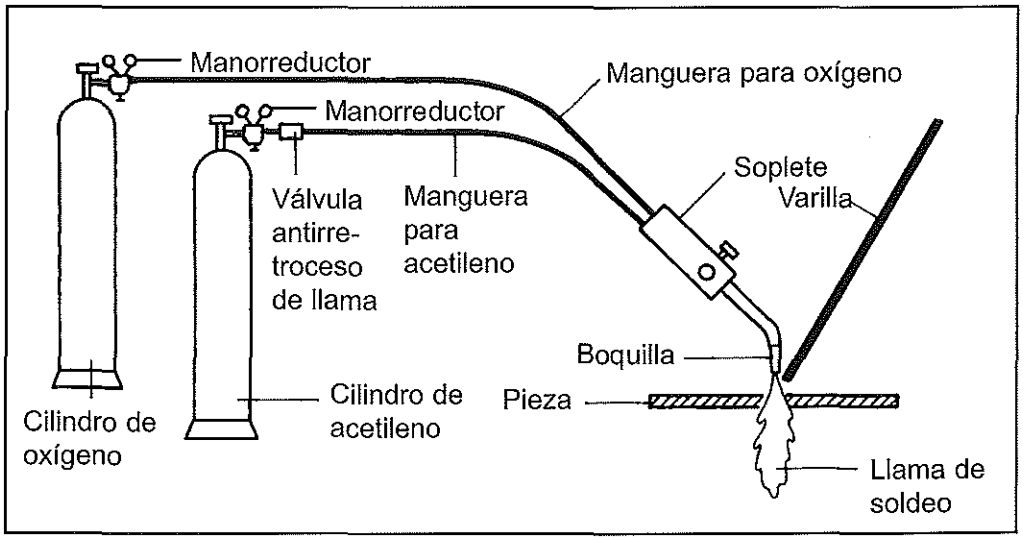


FIGURA 9.2: EQUIPO DE SOLDEO OXIACETILÉNICO

- Cilindro de acetileno y de oxígeno.
- Manorreductores.
- Mangueras.
- Válvulas de seguridad o antirretroceso.
- Soplete.
- Accesorios: encendedores, escariadores.

9.3.1. Oxígeno y acetileno

En la mayoría de los talleres de soldadura, los gases utilizados en soldeo oxiacetilénico están almacenados en botellas o cilindros, si bien en grandes industrias el oxígeno puede ser canalizado desde un tanque criogénico que contiene el oxígeno en estado líquido a baja temperatura, mediante un vaporizador que calienta el oxígeno líquido y lo convierte en oxígeno en estado gaseoso, o desde una batería de botellas y el acetileno puede ser producido directamente por un generador. (Ver figura 9.3)

Las botellas o cilindros facilitan el transporte y conservación de los gases comprimidos, estando diseñadas para gases específicos y no siendo, por tanto, intercambiables.

Como ya se indicó (apartado 7.3.3) el acetileno se almacena disuelto en acetona en cilindros rellenos de una sustancia esponjosa. Dado que al abrir la válvula y dejar escapar el gas éste puede arrastrar acetona, es conveniente no alcanzar nunca el consumo horario de un séptimo del contenido de la botella; es decir, por ejemplo: si la botella tiene un contenido de 6000 litros de acetileno, el consumo máximo deberá ser 857 litros/hora o lo que es lo mismo 14 litros/minuto, al ser $6000/7 \simeq 857$.

Si se requiere un consumo mayor será necesario disponer de una batería de botellas que podrá ser portátil o fija, o de un generador de acetileno.

Los generadores de acetileno son los encargados de producir este gas, a partir de la reacción química del carburo de calcio y del agua. A la salida del generador se procede al lavado y secado con el fin de obtener un acetileno libre de impurezas.

En el caso de baterías fijas, depósitos criogénicos para el oxígeno o generadores de acetileno, los gases se suministran mediante tuberías que deberán ser las adecuadas para cada gas en cuestión.

En cualquier caso se deberán prestar las precauciones citadas en el capítulo 7.

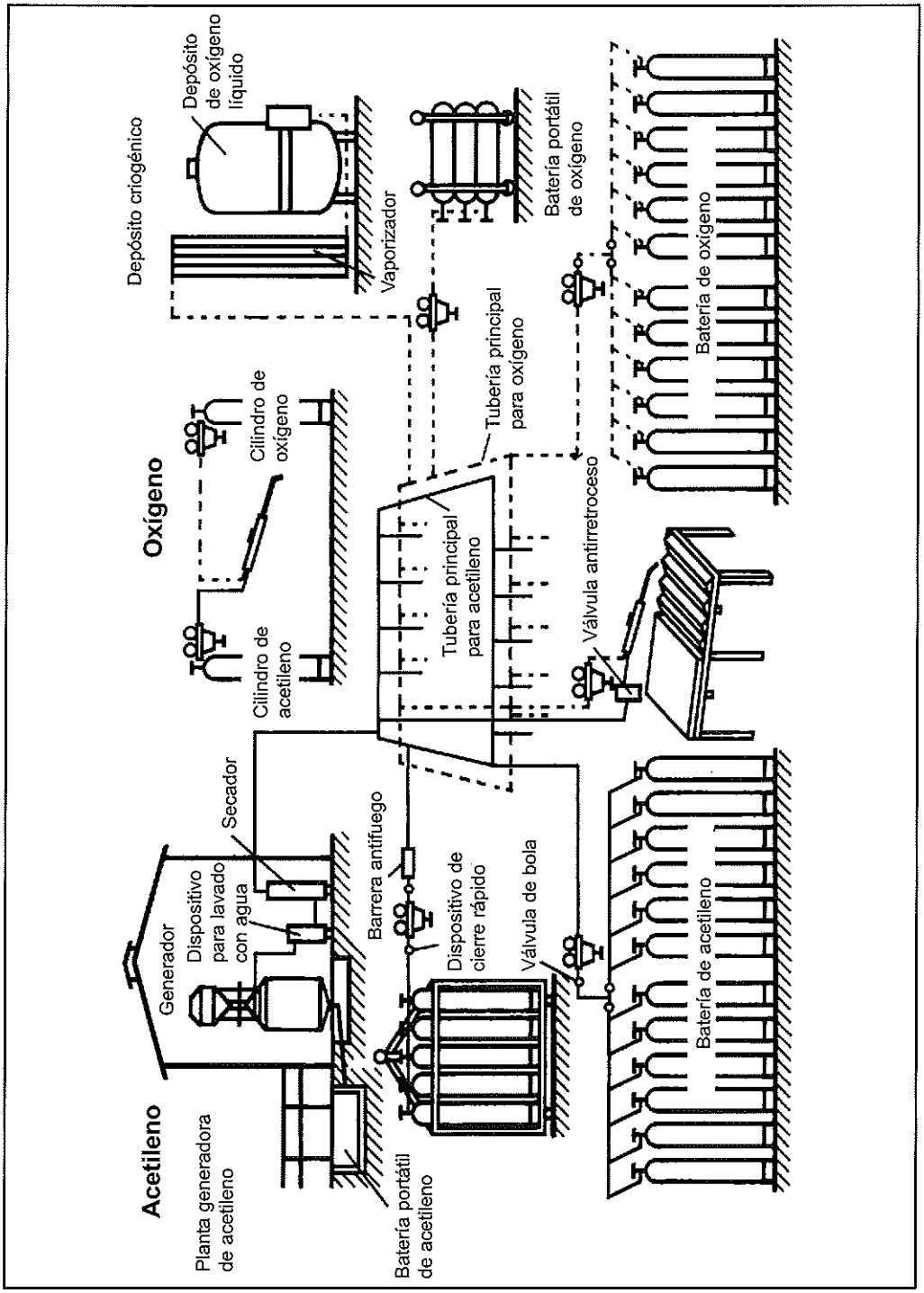


FIGURA 9.3: DIVERSAS FORMAS DE SUMINISTRO DE LOS GASES PARA EL SOLDEO OXIACETILÉNICO

9.3.2. Manorreductores

Los manorreductores, o válvulas reductoras de presión, son los encargados de **suministrar** el gas comprimido de los cilindros o depósitos a la **presión** y **velocidad de trabajo.**

Las válvulas reductoras de presión, además de reducir la elevada presión de los cilindros de gas, deben permitir que la presión de trabajo a la que suministran el gas permanezca invariable durante su funcionamiento, a pesar de la disminución de la presión en el cilindro o depósito a medida que se disminuye el contenido de gas.

Los manorreductores conectados a los cilindros deben tener dos manómetros (ver fig 9.4), uno de ellos indica la presión del cilindro (manómetro de alta presión) y el otro indica la presión de trabajo (manómetro de baja presión). Los manorreductores utilizados en las baterías de cilindros o en los depósitos pueden tener un sólo manómetro.

Cada manorreductor debe utilizarse solamente para lo que ha sido diseñado, es decir solamente para el gas especificado y nunca utilizar manorreductores destinados a cilindros en baterías o depósitos.

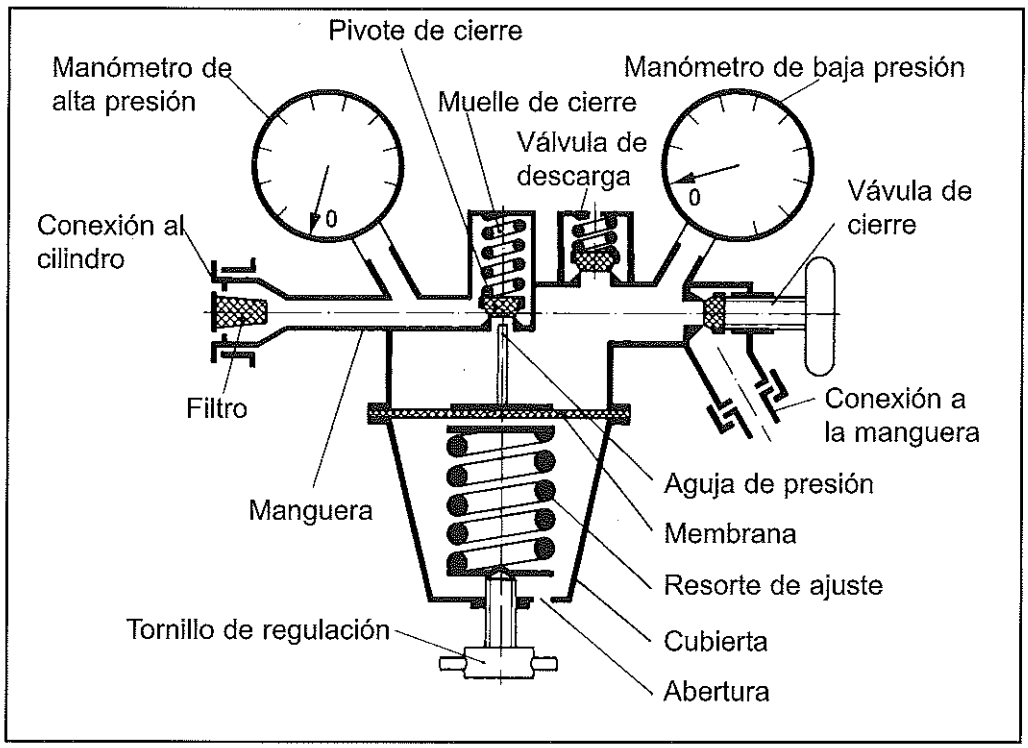


FIGURA 9.4: MANORREDUCTOR

9.3.3. Mangueras

Son tubos flexibles de goma por cuyo interior circula el gas, siendo por tanto las encargadas de transportar dicho gas desde los cilindros al soplete.

Suelen ser de caucho de buena calidad y deben tener gran resistencia al corte y la abrasión.

Los diámetros interiores son generalmente de 4 a 9 mm para el oxígeno y de 6 a 11 mm para el gas combustible, mientras que el espesor mínimo es de 2,5 mm (para el oxígeno de 4,5 a 5,5 mm). Es conveniente que la longitud no sea inferior a 5 m, aunque la distancia entre el cilindro y el soplete sea pequeña, para permitir libertad de movimientos.

Con objeto de poder distinguir el gas que circula por estas mangueras, las de **acetileno son de color rojo** y rosca a izquierdas al soplete y las de **oxígeno de color azul o verde** y rosca a derechas al soplete.

9.3.4. Soplete

La misión principal del soplete es asegurar la correcta mezcla de los gases combustible y comburente según su cantidad, de forma que exista equilibrio entre la velocidad de salida y la de inflamación. En la figura 9.5 se puede apreciar un soplete con cámara de mezcla de inyección.

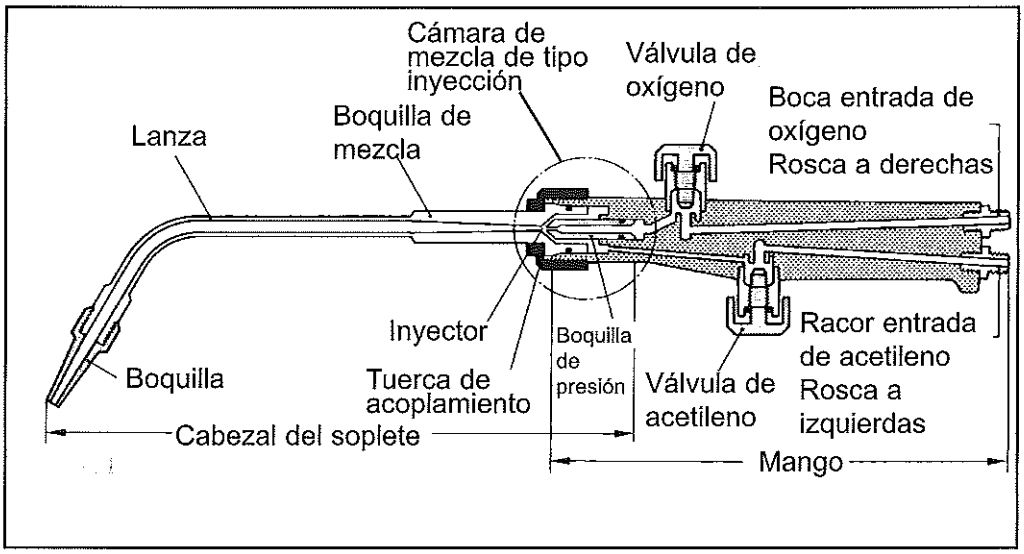


FIGURA 9.5: SOPLETE DE INYECCIÓN PARA SOLDEO OXIACETILÉNICO

Mediante el soplete el soldador controla las características de la llama y maneja la misma durante la operación de soldeo. La **potencia** de un soplete se mide en litros/hora y expresa el **consumo de gas combustible**.

La elección de tipo y tamaño del soplete depende de las características del trabajo a realizar.

Las partes principales son:

- Válvulas de entrada de gas.
- Cámara de mezcla.
- Boquillas.

Válvulas de entrada de gas

Estas válvulas permiten regular la presión, velocidad, caudal y proporción entre el gas combustible y el oxígeno.

Cámara de mezcla

En ella se realiza la mezcla íntima de combustible y comburente. Existen dos tipos fundamentales de cámara de mezcla.

- De sobrepresión

  En este tipo el oxígeno y el gas combustible están a la misma presión y van a la misma velocidad, mezclándose al juntarse las direcciones de ambos gases. En la figura 9.6 (A) se observa una cámara de este tipo.

- De inyección o aspiración.

  En este tipo de cámara el gas combustible a baja presión es aspirado por la corriente de oxígeno de alta velocidad. Para esto se utiliza un sistema de tobera. Este tipo de cámara de mezcla se emplea cuando el gas combustible es suministrado a una presión demasiado baja para producir una combustión adecuada. Los sopletes con este tipo de cámara se denominan de baja presión. En la figura 9.6 (B) puede observarse un diseño de una cámara de este tipo.

Boquillas

Son toberas intercambiables que se ajustan en la parte final o lanza del soplete. Controlan el flujo de gas por medio del diámetro del orificio de salida.

Normalmente boquillas de diversos diámetros son aptas para un determinado tamaño de soplete. Pequeños diámetros de salida producen llamas pequeñas, aptas

para soldar pequeñas secciones, sin embargo para grandes diámetros se requieren grandes secciones. Las boquillas deben permitir una llama uniforme.

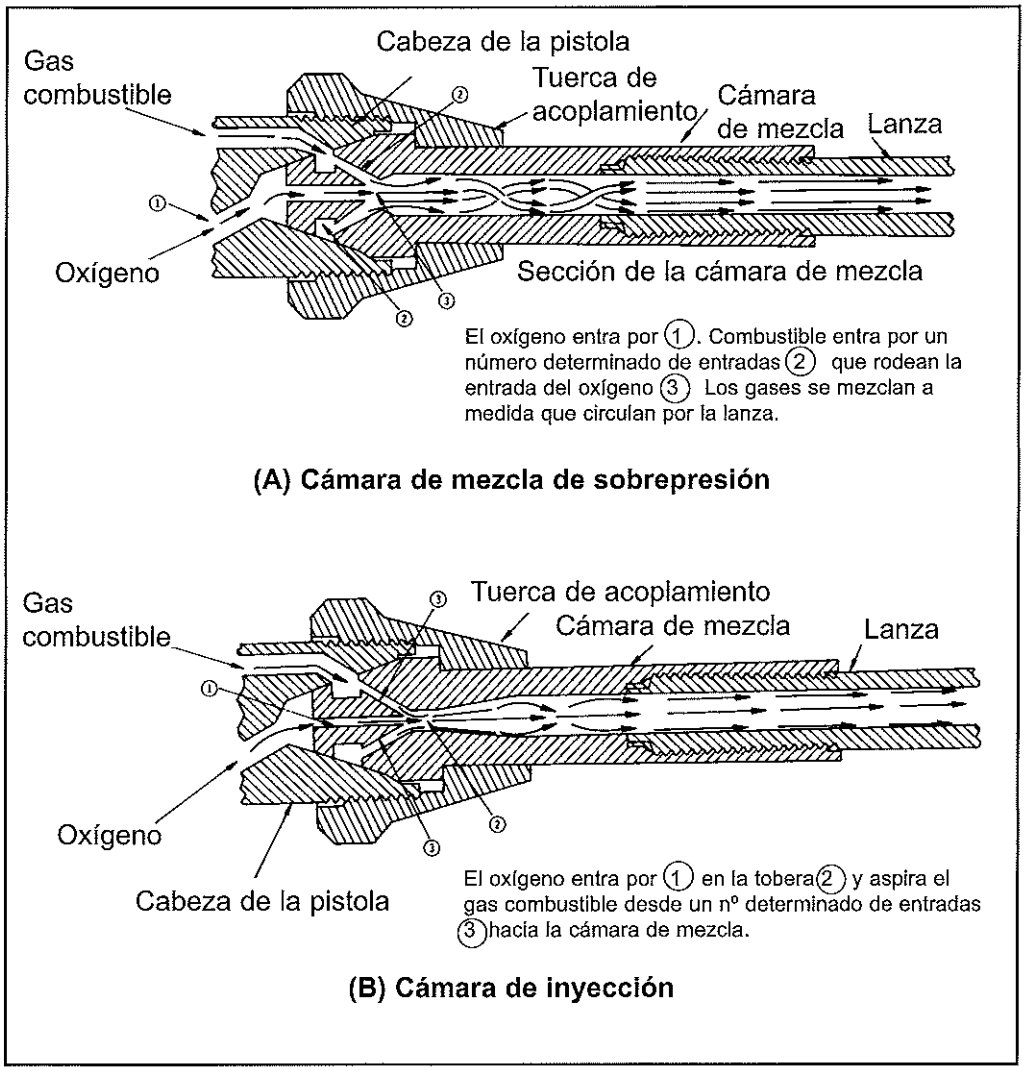

Cabeza de la pistola
Gas combustible
Tuerca de acoplamiento
Cámara de mezcla
Lanza
Oxígeno
Sección de la cámara de mezcla
El oxígeno entra por (1). Combustible entra por un número determinado de entradas (2) que rodean la entrada del oxígeno (3) Los gases se mezclan a medida que circulan por la lanza.
(A) Cámara de mezcla de sobrepresión
Gas combustible
Tuerca de acoplamiento
Cámara de mezcla
Lanza
Oxígeno
Cabeza de la pistola
El oxígeno entra por (1) en la tobera(2) y aspira el gas combustible desde un nº determinado de entradas (3)hacia la cámara de mezcla.
(B) Cámara de inyección

FIGURA 9.6: CÁMARAS DE MEZCLA. A) DE SOBREPRESIÓN. B) DE BAJA PRESIÓN

Se deben observar las siguientes precauciones:

- Se deberá limpiar la boquilla con los escariadores adecuados, eliminando cualquier proyección o suciedad que se haya podido adherir.
- Se deben mantener limpias y en buen estado las roscas y las superficies de cierre para evitar fugas y retrocesos de llama.

Es de la mayor importancia seleccionar el caudal adecuado para cada tipo de boquilla ya que si el caudal es escaso la llama no será efectiva, pudiéndose incluso producirse un retroceso de llama; si el caudal es excesivo, se dificulta el manejo del soplete y el control del baño de fusión.

9.3.5. Válvulas antirretroceso de llama

Cuando se produce un retroceso de llama, ésta se introduce en el soplete o incluso puede llegar, a través de las mangueras, a los cilindros de gas y provocar su explosión. Las válvulas antirretroceso previenen:

- La entrada de oxígeno o de aire en el conducto y cilindro que suministra el acetileno.
- Un retroceso de llama dentro del soplete, mangueras, tuberías, cilindros o depósitos.
- El suministro durante y después de un retroceso de llama. Si el retroceso de llama ha sido muy leve en algunos casos no se corta el suministro de gas, solamente se corta si la temperatura ha aumentado hasta 90 ó 100ºC.

Se colocan justo a la salida de las válvulas reductoras de presión para proteger los cilindros. A la entrada del soplete, aunque sería una posición idónea, no se suelen colocar pues dificultaría su manejo al soldador. En caso de mangueras muy largas, además de la situada a la salida de las válvulas reductoras también pueden situarse en algún punto del recorrido de las mangueras como medida de precaución.

Este tipo de válvulas deben tener los siguientes **elementos de seguridad** (ver figura 9.7):

- Válvula antirretroceso, que permite el paso del gas en una sólo sentido.
- Sinterizado microporoso que apague una llama en retroceso.
- Válvula de corte térmico que se cierra al detectar un aumento de temperatura. Este dispositivo no es imprescindible en el caso de suministro a partir de cilindros de gas.

9.4. Varillas de Aportación y Fundentes

Generalmente se utilizan varillas de aportación de la misma composición que el material base. El diámetro de las varillas suele oscilar entre 1,6 y 6,4 mm y su longitud entre 600 y 900 mm.

En el acero al carbono no es necesario el empleo de fundentes ya que los óxidos formados se funden con facilidad, sin embargo, en el soldeo de aceros inoxidables y aluminios es imprescindible utilizar fundentes para disolver los óxidos y proteger el metal de soldadura. No obstante, el empleo de un fundente no sustituye a la limpieza previa al soldeo.

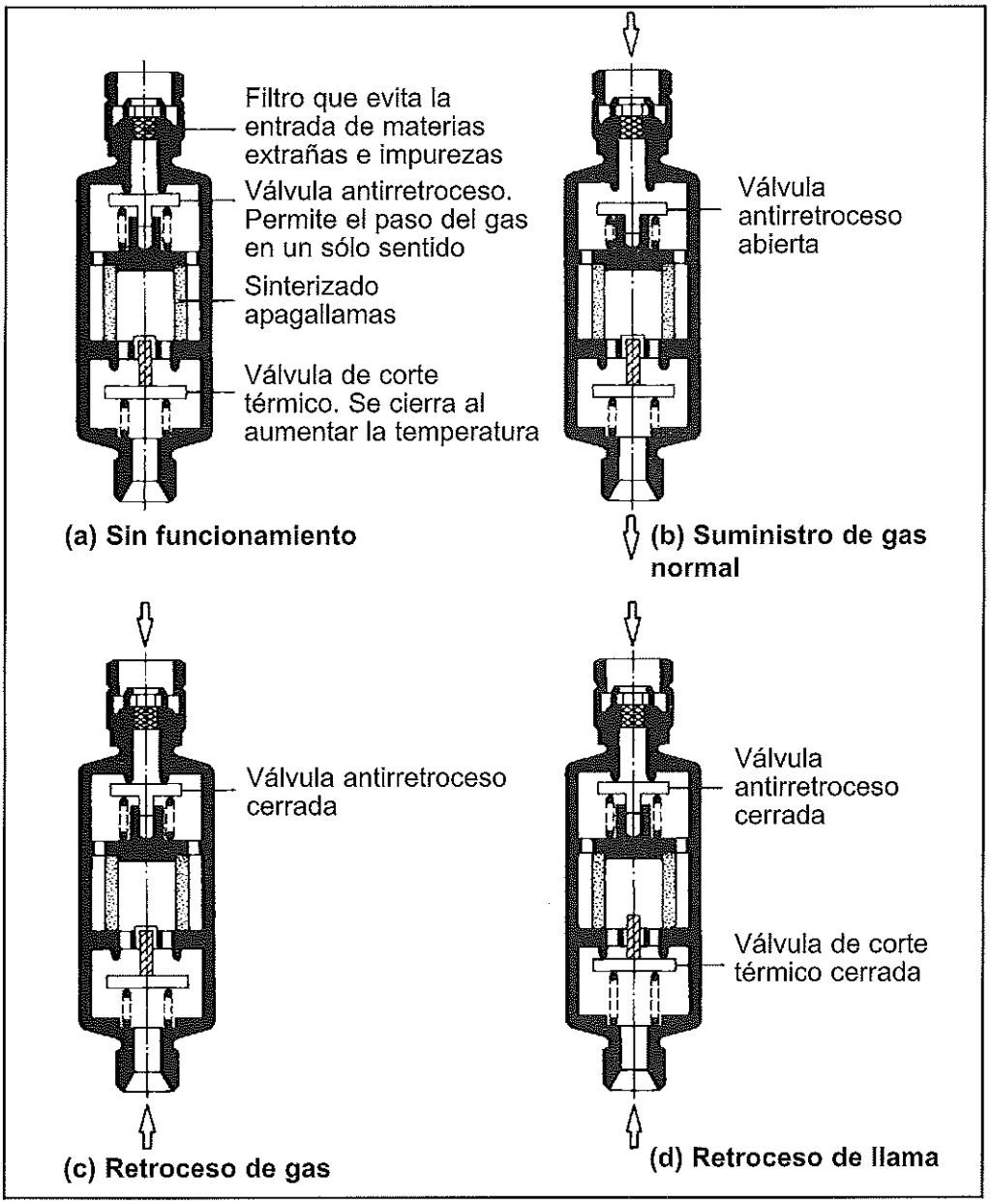

Filtro que evita la entrada de materias extrañas e impurezas
Válvula antirretroceso. Permite el paso del gas en un sólo sentido
Sinterizado apagallamas
Válvula de corte térmico. Se cierra al aumentar la temperatura
(a) Sin funcionamiento
Válvula antirretroceso abierta
(b) Suministro de gas normal
Válvula antirretroceso cerrada
(c) Retroceso de gas
Válvula antirretroceso cerrada
Válvula de corte térmico cerrada
(d) Retroceso de llama

FIGURA 9.7: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA ANTIRRETROCESO DE LLAMA CON CONTROL DE TEMPERATURA

Los fundentes se suministran en polvo, pasta, en solución o como recubrimiento de las varillas. Para aplicar el fundente se calienta el extremo de la varilla y se introduce en el fundente, a medida que se suelda se irá introduciendo la varilla en el fundente. También se puede espolvorear el fundente sobre el material base. Los fundentes en forma de pasta se aplican con un pincel sobre el metal base.

9.5. Zonas Características de la Llama Oxiacetilénica.

Las zonas características de la llama oxiacetilénica pueden observarse en la figura 9.8 y son:

- Cono o dardo
- Zona de trabajo o de soldeo
- Penacho

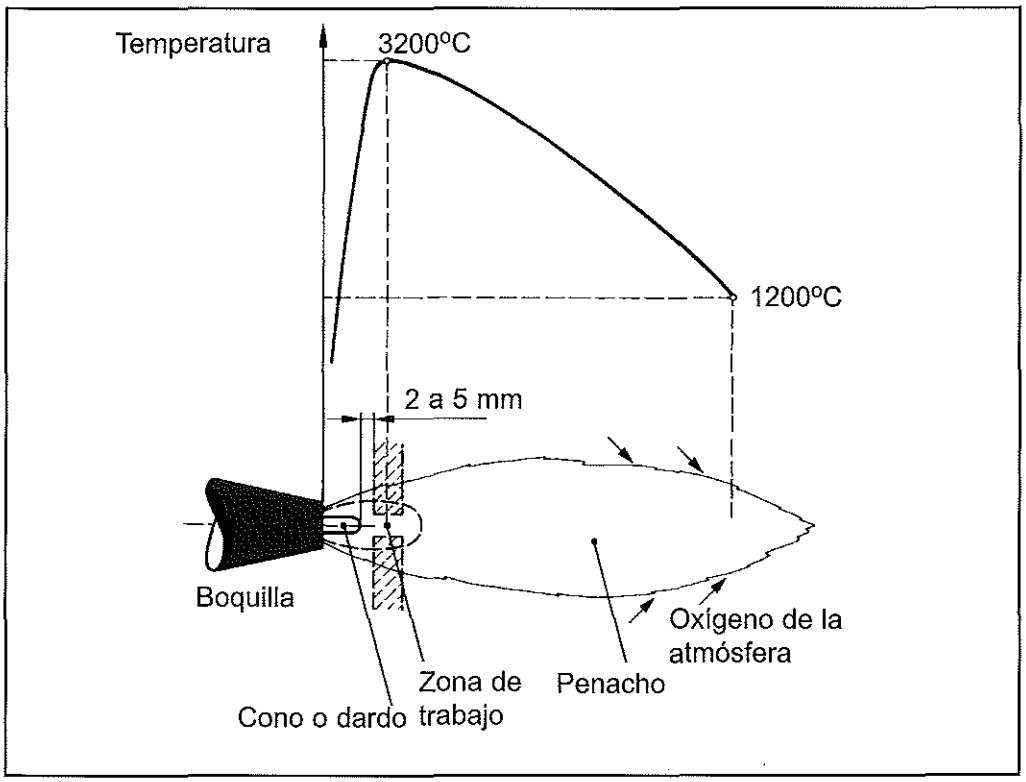


FIGURA 9.8: ZONAS CARACTERÍSTICAS DE LA LLAMA OXIACETILÉNICA

El cono o dardo es la señal más característica de la llama, es de color blanco deslumbrante y su contorno está claramente delimitado. Es donde se produce la combustión del acetileno con el oxígeno.

Delante del cono yace la zona más importante de toda la llama, que, desgraciadamente, no pude reconocerse ópticamente y se ha señalado con línea de trazos, es la llamada **zona de soldeo o zona de trabajo.** Es la zona de máxima temperatura y es aquí donde se realiza el soldeo de la pieza. Es de importancia, por consiguiente, dejar entre la punta del cono y la superficie del baño de fusión una distancia que varía entre 2 y 5 mm dependiendo del tamaño de la llama y por tanto del soplete.

En **el penacho** se produce la combustión, con el oxígeno del aire, de todos los productos que no se han quemado anteriormente. De esta forma se impide que el oxígeno del aire entre en contacto con los metales a unir, constituyendo una capa protectora que evita que se produzca su oxidación.

La curva de la parte superior de la figura 9.8 muestra que la máxima temperatura de 3200°C existe únicamente dentro de la zona de trabajo (zona rayada).

9.6. Técnicas Operativas

9.6.1. Preparación de la unión

Es imprescindible que las piezas a unir estén limpias y exentas de óxidos, aceite y grasas, ya que de lo contrario se pueden producir poros e inclusiones de óxidos.

El espesor de las piezas determina la preparación a realizar, cuando el espesor es pequeño, inferior a 7 mm, no es necesario achaflanar los bordes, para espesores inferiores a 5 mm los bordes se pueden disponer juntos, sin separación, mientras que para mayores espesores es imprescindible separarlos para asegurar la penetración completa. Las piezas de más de 7 mm de espesor deben ser achafanadas con un ángulo del bisel de 35 a 45°. El talón suele ser de 1-2 mm. Las piezas de más de 20 mm de espesor se preparan con chaflán doble si se pueden soldar por ambos lados, de esta forma se reduce la cantidad de metal de aportación y de gases empleado. Sin embargo, el soldeo oxiacetilénico de espesores gruesos presenta muchas desventajas respecto al soldeo por arco eléctrico (es lento y produce grandes deformaciones en las piezas), por lo que prácticamente no tiene ningún interés en este campo de espesores.

9.6.2. Utilización del equipo de soldeo

Para utilizar correctamente el equipo de soldeo es necesario que se siga la secuencia indicada a continuación, además de las recomendaciones de seguridad del capítulo 7.

Conexión de los elementos del equipo de soldeo

Pasos a seguir:

1. Limpiar e inspeccionar cada uno de los componentes del equipo, asegurarse de la no existencia de grasa o aceite en las conexiones de oxígeno.
2. Realizar el purgado de las botellas.
3. Montar el equipo de soldeo con las válvulas cerradas y verificar todas las conexiones antes de abrir ninguna de ellas.

Apertura del oxígeno y del acetileno

La siguiente secuencia de operación debe realizarse primero con el oxígeno y luego repetir con el acetileno (o al revés) pero nunca simultáneamente.

1. Antes de abrir la válvula comprobar que el tornillo de regulación está aflojado (figura 9.4)
2. Abrir el grifo de la botella lentamente. En las botellas de acetileno abrir sólo una vuelta, en las de oxígeno abrir totalmente.
3. Abrir la válvula de cierre en el manorreductor.
4. Abrir la válvula en el soplete.
5. Apretar el tornillo de regulación hasta que se obtiene la presión deseada (figura 9.9). Se recuerda que la presión del acetileno no debe superar $1Kg/cm^2$.
6. Dejar salir el gas durante 5 segundos por cada 15 m de longitud de la manguera y cerrar la válvula del soplete.

Encendido y apagado del soplete

El encendido y apagado del soplete debe hacerse con cuidado, recordando que nunca se deberá apagar cerrando primero el oxígeno ya que puede quedarse atrapada la llama dentro del soplete.

1. Verificar antes de su empleo el estado del soplete, sobre todo estanqueidad y limpieza de las boquillas.

2. Verificar conexiones de mangueras al soplete.
3. Comprobar presiones de trabajo.
4. Se suele recomendar abrir la válvula de acetileno del soplete, encender la llama con el mechero adecuado y regular la llama con el oxígeno, sin embargo para evitar la formación de humos también se puede abrir primero, ligeramente, la válvula de oxígeno y después la del acetileno. Encender la llama con mechero adecuado y regular posteriormente la llama mediante la entrada de oxígeno.
5. Para apagar, cerrar en primer lugar la válvula del gas combustible y luego la del oxígeno.
6. Manejar el soplete con cuidado, evitando movimientos bruscos e incontrolados.

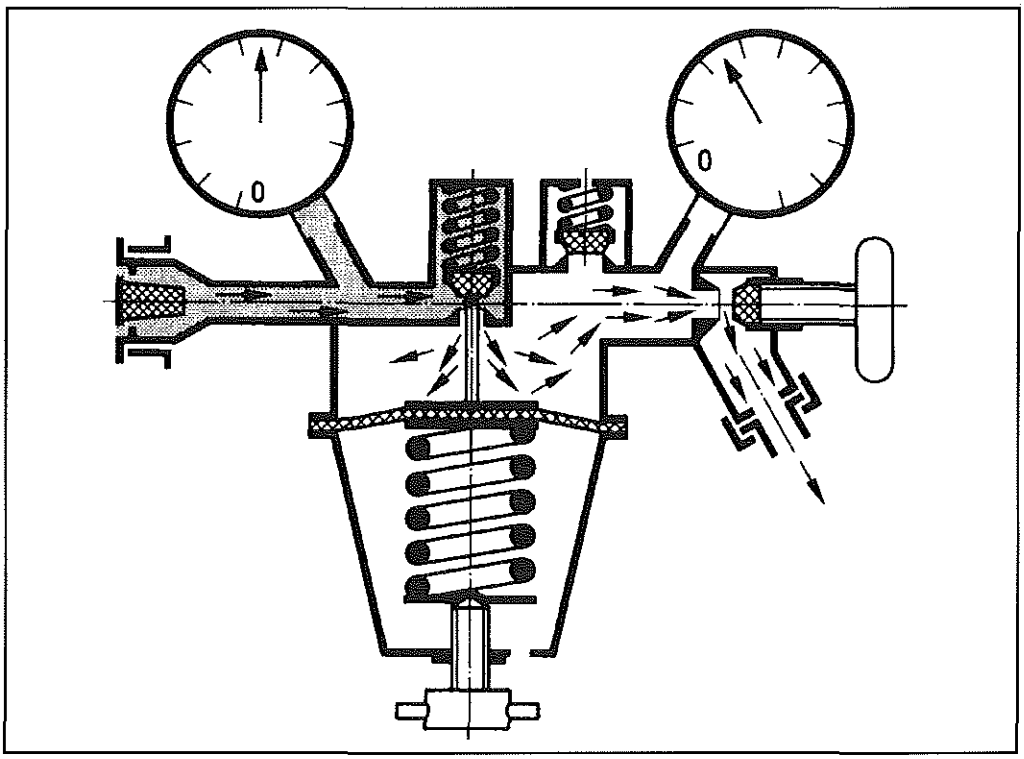


FIGURA 9.9: MANEJO DEL MANORREDUCTOR. APERTURA

Cierre de botellas

Para cerrar las botellas al terminar el soldeo se deberá:

1. Cerrar las válvulas de los cilindros.
2. Desalojar los gases de las mangueras abriendo las válvulas de los sopletes.
3. Aflojar el tornillo de regulación de los manorreductores (ver figura 9.10).
4. Atornillar la válvula de cierre del manómetro.
5. Cerrar las válvulas del soplete.

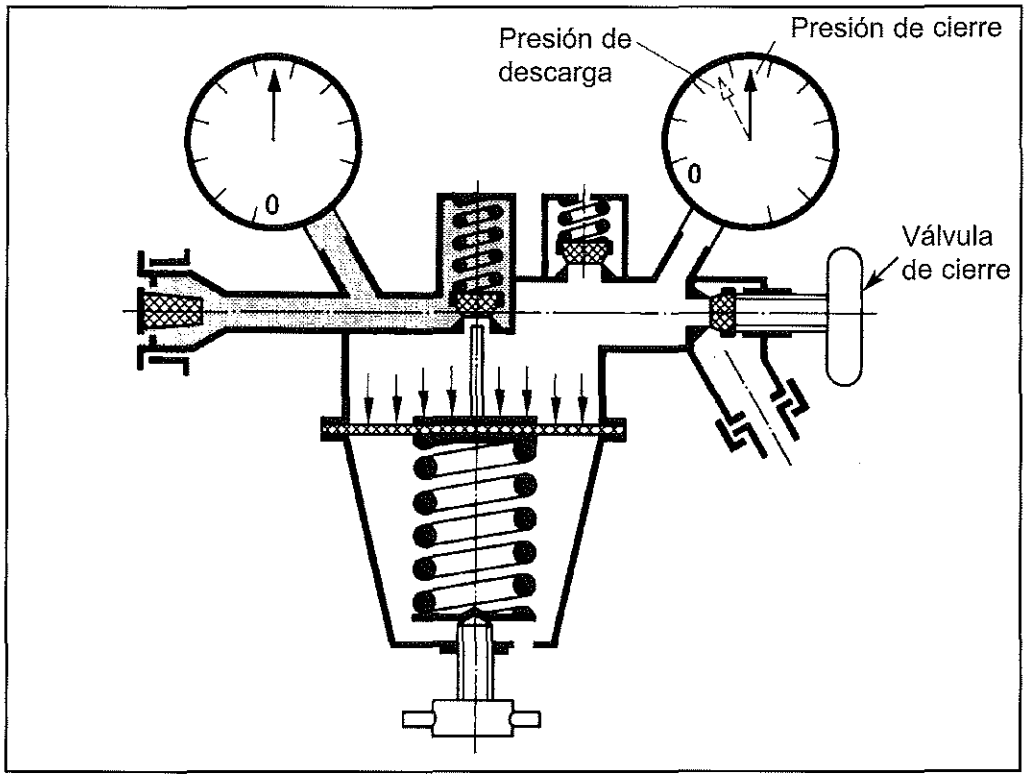


FIGURA 9.10: MANEJO DEL MANORREDUCTOR. CIERRE

9.6.3. Regulación de la llama oxiacetilénica

La llama oxiacetilénica es **fácilmente regulable**, en el sentido de que permite obtener llamas estables con diferentes proporciones de oxígeno y acetileno.

Lógicamente, diferentes proporciones de gas combustible y de oxígeno

producen llamas con diferentes propiedades y aplicaciones. En función de esta proporción se pueden distinguir cuatro tipos de llamas:

- Llama de acetileno puro
- Llama carburante o reductora
- Llama neutra
- Llama oxidante

Otra de las ventajas de la llama oxiacetilénica, frente a las llamas formadas con otros gases combustibles, es que se puede distinguir visualmente las zonas de la llama y el tipo de llama que se está utilizando.

- **Llama de acetileno puro** que se produce cuando se quema acetileno en el aire. Produce una llama que varía su color de amarillo a rojo naranja, en su parte final, y que provoca la aparición de partículas de hollín flotando en el aire. No tiene utilidad en soldadura (ver figura 9.11)

- **Llama carburante** que se produce cuando hay un exceso de acetileno. Partiendo de la llama de acetileno puro al aumentar la proporción de oxígeno, la llama empieza a hacerse luminosa, formándose una zona brillante o dardo, seguida del penacho acetilénico de color verde pálido que aparece como consecuencia del exceso de acetileno y desaparece cuando se igualan las proporciones (ver figura 9.11)

  Una forma práctica de determinar la cantidad de exceso de acetileno frente al oxígeno existente en una llama carburante, es comparar la longitud del dardo con la del penacho acetilénico ambos medidos desde la boquilla. Si la llama tiene doble cantidad de acetileno que de oxígeno, la longitud del penacho acetilénico será el doble que la del dardo.

- **Llama neutra** que se produce cuando la cantidad de acetileno es aproximadamente igual a la de oxígeno (ver figura 9.11). La forma más fácil de obtener la llama neutra es a partir de una llama con exceso de acetileno (carburante) fácilmente distinguible por la existencia del penacho acetilénico, a medida que se aumenta la proporción de oxígeno la longitud del penacho acetilénico va disminuyendo hasta que desaparece justo en el momento en el que la llama se hace neutra.

- **Llama oxidante** que se produce cuando hay un exceso de oxígeno, la llama tiende a estrecharse en la salida de la boquilla del soplete. No debe utilizarse en el soldeo de aceros, soliendo utilizarse, fundamentalmente, para el soldeo de los **latones** (ver figura 9.11). Con proporción oxígeno/ acetileno de 1,75:1 se alcanzan temperaturas de 3100ºC.

En la figura 9.11 se representan los diferentes tipos de llamas oxiacetilénica además de sus aplicaciones comunes.

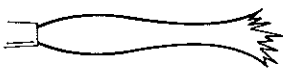
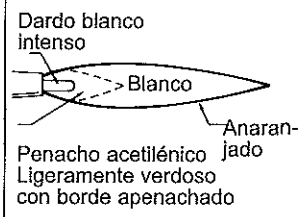
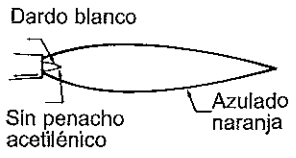
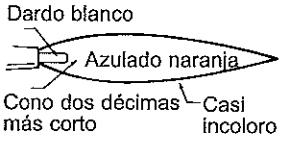
Tipo de llama	Aspecto de la llama	Aplicaciones				
		Acero	Fundiciones	Cobre	Latón	Aluminio
Llama de acetileno puro		No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada
Carburante con exceso de acetileno		No adecuada	Adecuada	No adecuada	No adecuada	Adecuada
Neutra Igual cantidad de oxígeno que de acetileno		Adecuada	Aceptable	Adecuada	No adecuada	Aceptable
Oxidante Exceso de oxígeno		No adecuada	No adecuada	No adecuada	Adecuada	No adecuada

FIGURA 9.11: TIPOS DE LLAMA OXIACETILÉNICA Y APLICACIONES

9.6.4. Técnicas de soldeo

En soldeo oxigás se utilizan las técnicas de soldeo a izquierdas o hacia adelante y a derechas o hacia atrás, explicadas en el capítulo 5 y representadas en la figura 9.12.

El soldeo hacia adelante se emplea fundamentalmente en chapas de acero de hasta 3 mm y en la mayoría de los metales no férreos, independientemente de su espesor el soldeo de tubería se suele realizar con esta técnica ya que el baño de fusión es pequeño y de fácil control.

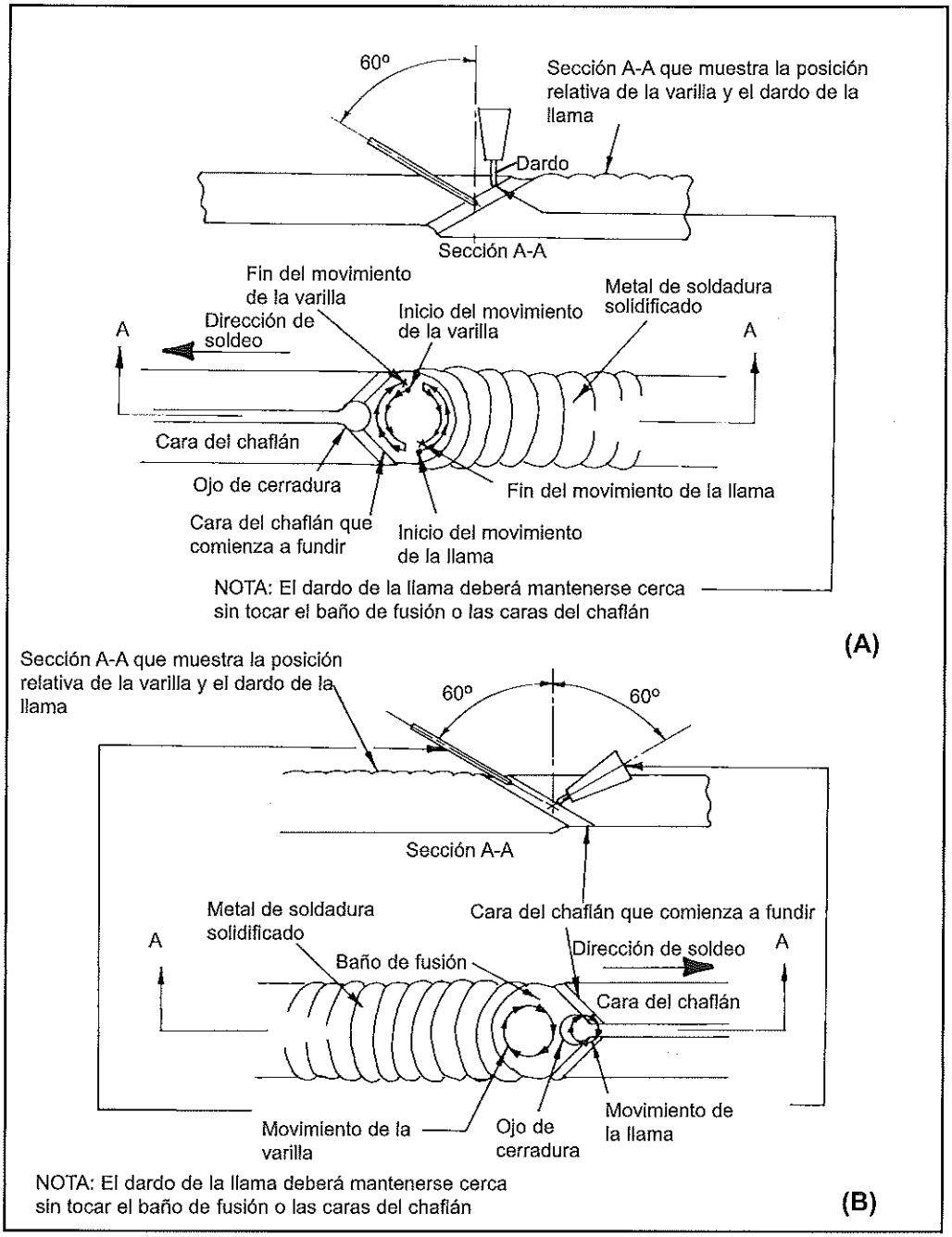

60°
Sección A-A que muestra la posición relativa de la varilla y el dardo de la llama
Dardo
Sección A-A
Fin del movimiento de la varilla
Dirección de soldeo
Inicio del movimiento de la varilla
Metal de soldadura solidificado
A
A
Cara del chaflán
Ojo de cerradura
Fin del movimiento de la llama
Cara del chaflán que comienza a fundir
Inicio del movimiento de la llama
NOTA: El dardo de la llama deberá mantenerse cerca sin tocar el baño de fusión o las caras del chaflán
(A)
Sección A-A que muestra la posición relativa de la varilla y el dardo de la llama
60°
60°
Sección A-A
Metal de soldadura solidificado
Cara del chaflán que comienza a fundir
A
Baño de fusión
Dirección de soldeo
A
Cara del chaflán
Movimiento de la varilla
Ojo de cerradura
Movimiento de la llama
NOTA: El dardo de la llama deberá mantenerse cerca sin tocar el baño de fusión o las caras del chaflán
(B)

FIGURA 9.12: (A) TÉCNICA DE SOLDEO HACIA ADELANTE O A IZQUIERDAS. (B) TÉCNICA DE SOLDEO HACIA ATRÁS O A DERECHAS

El soldeo hacia atrás se emplearía fundamentalmente en chapas de más de 3 mm, ya que se puede aumentar la velocidad de soldeo y facilita la penetración.

Cuando se realizan uniones de dos pasadas en tubería, se suele realizar la primera hacia atrás y la segunda hacia adelante.

La técnica de soldeo hacia adelante implica movimientos repetitivos de la llama desde un lado del chaflán a otro, la varilla se sitúa en el lado opuesto al de la llama [ver figura 9.12 (A)].

En la técnica hacia atrás el soldador dirige la llama dentro de la separación de la raíz hasta que se forma el baño de fusión (mediante la fusión de los bordes del chaflán), en este momento mueve la varilla hacia la zona más avanzada del baño de fusión y mueve la llama ligeramente hacia el metal sin fundir y vuelve sobre el baño de fusión [ver figura 9.12 (B)].

9.7. Defectos Típicos de las Soldaduras

Una falta de limpieza o la no utilización del fundente adecuado para el metal base se traduce en poros y en inclusión de óxidos.

Uno de los defectos más importantes producidos por el soldeo oxigás es la deformación de las piezas. Esta deformación es mayor que la obtenida con la mayoría de los procesos de soldeo, esto es debido a que la duración del calentamiento debe ser mayor que en los otros procesos de soldeo.

Otro defecto importante, que muchas veces limita la aplicación de este proceso, es la variación de la composición química provocada por la reacción de la llama con el metal base.

Ya se ha indicado que los defectos más típicos e importantes que se pueden obtener con este proceso son las deformaciones y la variación de la composición química del metal base. Además se pueden tener los siguientes:

- Poros. Causas:
  - Por la selección de la llama inadecuada, llamas oxidantes favorecen la formación de los poros.
  - Por falta de limpieza del metal base o del de aportación.
  - Por la no utilización o utilización del fundente inadecuado para el metal base.
- Falta de fusión o de penetración. Causas:
  - Velocidad de soldeo excesiva.
  - Separación escasa en la raíz.
- Inclusiones de escoria. Causas:
  - Mala limpieza.

Capítulo 10

Soldeo por Arco con Electrodos Revestidos

INDICE

10.1. Principios del proceso 193

10.1.1. Descripción y denominaciones 193

10.1.2. Ventajas y limitaciones 194

10.1.3. Aplicaciones 195

10.2. Selección del tipo de corriente 195

10.3. Equipo de soldeo 198

10.3.1. Fuente de energía 198

10.3.2. Portaelectrodo 199

10.3.3. Conexión de masa 199

10.4. Electrodos revestidos 199

10.5. Tipos de revestimiento 202

10.5.1. Revestimientos de los electrodos de acero al carbono 203

10.5.2. Revestimiento de los electrodos de aceros aleados y materiales no férreos 206

10.5.3. Electrodos con polvo de hierro en el revestimiento.....206
10.6. Manipulación y conservación de los electrodos.....207
10.7. Parámetros de soldeo.....209
10.7.1. Diámetro del electrodo.....209
10.7.2. Intensidad de soldeo.....211
10.7.3. Longitud del arco.....212
10.7.4. Velocidad de desplazamiento.....215
10.7.5. Orientación del electrodo.....215
10.8. Técnicas operativas.....216
10.8.1. Punteado.....216
10.8.2. Inspección antes de soldar.....217
10.8.3. Establecimiento o cebado del arco.....217
10.8.4. Observación del baño de fusión.....219
10.8.5. Ejecución del soldeo.....220
10.8.6. Interrupción del arco de soldeo.....220
10.8.7. Empalmes de los cordones de soldadura.....221
10.8.8. Retirada de la escoria.....222
10.8.9. Soplo del arco.....223
10.9. Defectos típicos en las soldaduras.....224

10.1. Principios del Proceso

10.1.1. Descripción y denominaciones

El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (ver figura 10.1). La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente, solidifica.

Al soldeo por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

- SMAW, Shielded metal-arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 111, Soldeo metálico por arco con electrodo revestido (UNE-EN ISO 4063)
- MMAW, Manual metal-arc welding (Reino Unido).

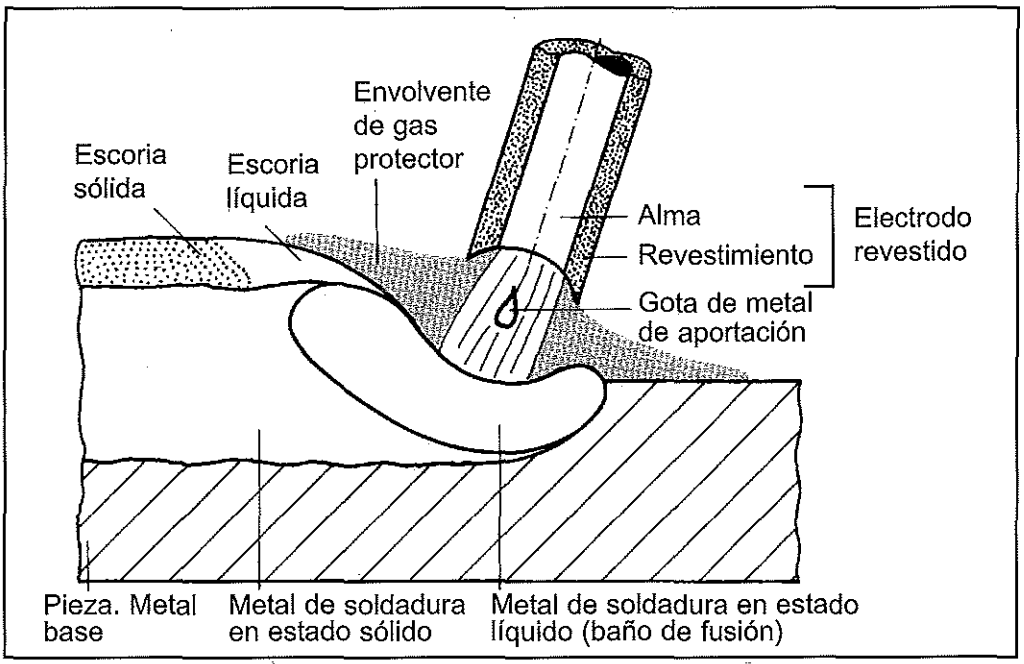


FIGURA 10.1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

10.1.2. Ventajas y limitaciones

Ventajas

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

Limitaciones

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, cinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, circonio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1,5-2 mm.
- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como FCAW o GMAW. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm),

cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.

- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1,5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. Para estos espesores resultan más adecuados los procesos SAW y FCAW.

10.1.3 Aplicaciones

El soldeo por arco con electodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo.

La mayor parte de las aplicaciones del soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no férreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gaseoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldeo, realizando bien la pasada de raíz o las de relleno, en tubería se suele emplear en combinación con el proceso TIG. La raíz se realiza con TIG completándose la unión mediante soldeo SMAW.

10.2. Selección del Tipo de Corriente

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a utilizar y del material base. En la tabla 10.1 se indica la corriente más adecuada en función de una serie de parámetros.

En cuanto a la polaridad utilizada con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo se recuerda que se obtiene mayor penetración con polaridad inversa. (Ver figura 10.2).

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeñodiámetro que requieren bajas intensidades de soldeo	La operación resulta más fácil	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos	No se presentan problemas
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo porque deben utilizarse intensidades bajas	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que reestablezcan el arco
Espesor de la pieza	Se prefiere para espesores delgados	Se prefiere para espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos

TABLA 10.1: COMPARACIÓN ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Salpicaduras	Poco frecuentes	Más frecuentes
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos sobre todo los de tipo básico)	El soldeo resulta más fácil	
Polaridad	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y electrodo a emplear	No hay polaridades

TABLA 10.1 (CONTINUACIÓN): COMPARACIÓN ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

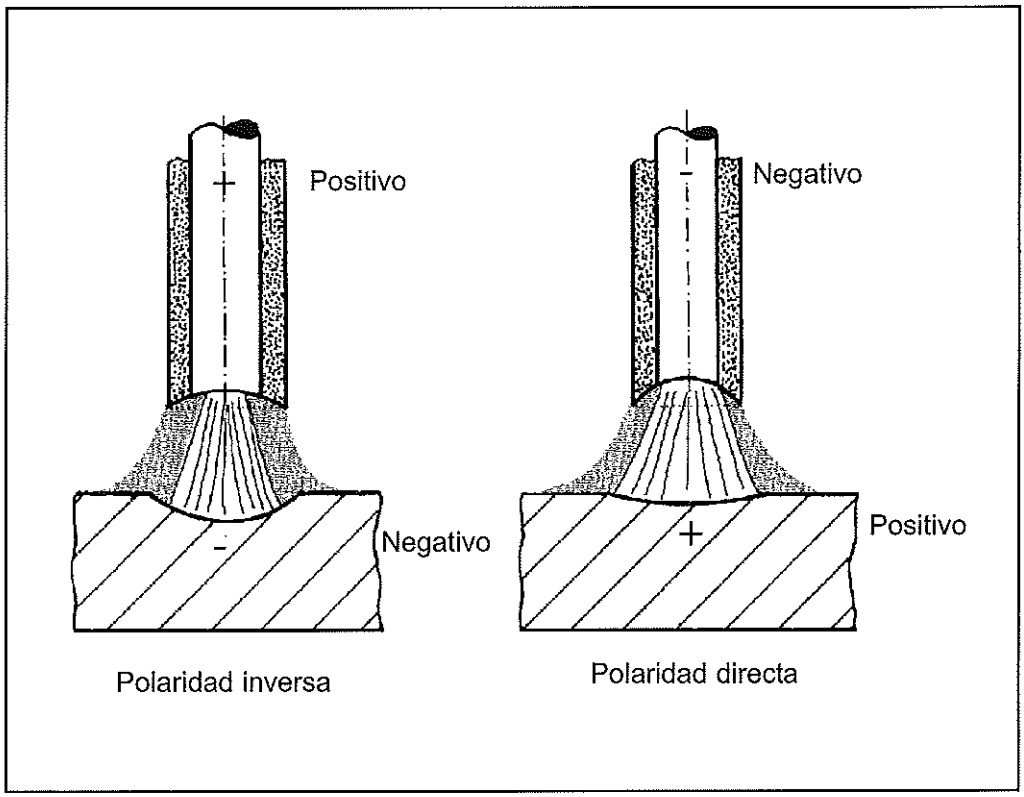


FIGURA 10.2: PENETRACIÓN OBTENIDA EN FUNCIÓN DE LA POLARIDAD

10.3. Equipo de soldeo

El equipo de soldeo es muy sencillo (ver figura 10.3); consiste en la fuente de energía, el portaelectrodo, la conexión de masa y los cables de soldeo.

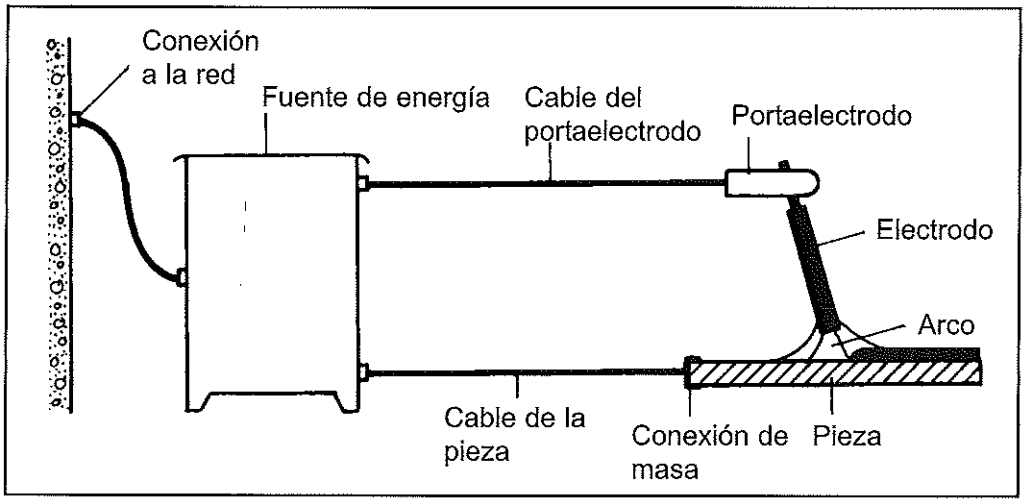


FIGURA 10.3: EQUIPO DE SOLDEO

10.3.1. Fuente de energía

La fuente de energía para el soldeo debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

Para el soldeo en corriente continua se utilizarán transformadores-rectificadores o generadores, para el soldeo en corriente alterna se utilizan transformadores.

Para la selección de la fuente de energía adecuada se deberá tener en cuenta el electrodo que se va a emplear, de forma que pueda suministrar el tipo de corriente (cc o ca), rango de intensidades y tensión de vacío que se requiera.

Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío en comparación con los electrodos de tipos rutilo y ácido.

Salvo para algunos tipos específicos, los electrodos básicos requieren corriente continua, mientras que los de los demás tipos de revestimiento pueden ser empleados indistintamente con corriente continua o alterna.

10.3.2. Portaelectrodo

Tiene la misión de conducir la electricidad al electrodo y sujetarle. Para evitar un sobrecalentamiento en las mordazas, éstas deben mantenerse en perfecto estado; un sobrecalentamiento se traduciría en una disminución de la calidad y dificulta la ejecución del soldeo. Se debe seleccionar siempre el portaelectrodos adecuado para el diámetro de electrodo que se vaya a utilizar.

En la figura 10.4 se representa un portaelectrodo típico.

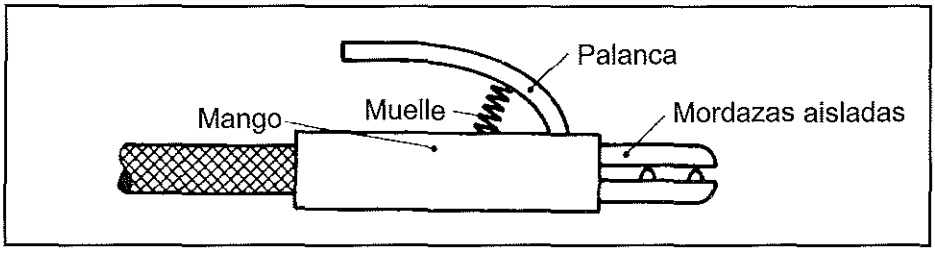


FIGURA 10.4: PORTAELECTRODO

10.3.3. Conexión de masa

La conexión correcta del cable de masa es una consideración de importancia. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo con cc. Una situación incorrecta puede provocar el soplo magnético, dificultando el control del arco. Más aún, el método de sujetar el cable también es importante. Un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco. El mejor método es emplear una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza tipo C. Si fuese perjudicial la contaminación por cobre del metal base con este dispositivo, la zapata de cobre debe adherirse a una chapa que sea compatible con la pieza, chapa que, a su vez, se sujeta a la pieza. Para piezas giratorias, el contacto debe efectuarse mediante zapatas que deslizan sobre la pieza o mediante rodamientos en el eje sobre el que la pieza va montada. Cuando se emplean zapatas deslizantes se deben colocar dos como mínimo, ya que si se produjese la pérdida de contacto en una de ellas el arco se extinguiría.

10.4. Electrodos Revestidos

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y que, al consumirse, produce la **aportación del material**

que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

Los **electrodos revestidos** están formados por: (ver figura 10.5)

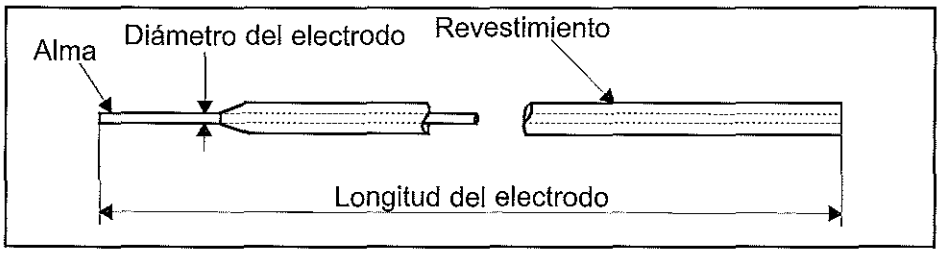


FIGURA 10.5: ELECTRODO REVESTIDO

- Un alambre de sección circular uniforme, denominado **alma**, de composición normalmente similar a la del metal base.
- El **revestimiento** que es un *cilindro* que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo. En la figura 10.6 se indican las funciones más importantes del revestimiento y se compara el comportamiento del electrodo revestido frente al desnudo.

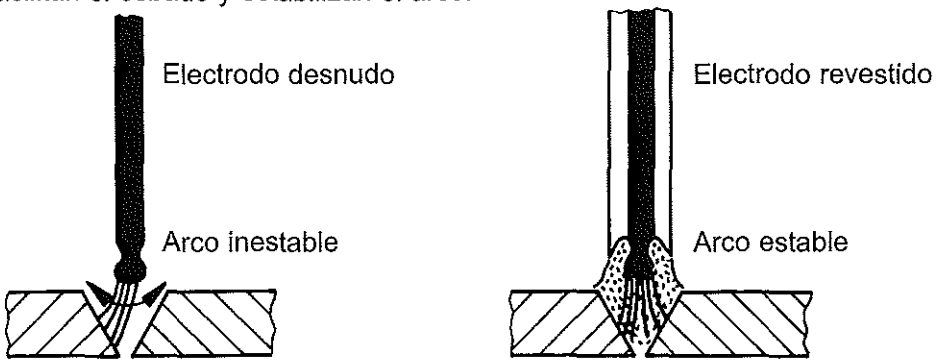
Los electrodos tienen **longitudes normalizadas** de 150, 200, **250, 300, 350 y 450** mm, en función del diámetro del electrodo. Un **extremo** del alma está sin cubrir de revestimiento, en una longitud de 20 a 30 mm., para la inserción del mismo en la pinza del portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, siendo los más comunes los de **1,6**; 2; **2,5; 3,25; 4**; 5; 6; 6,3; 8; 10; 12,5 mm (diámetro del alma). Tanto en la longitud como en el diámetro se ha señalado con negrita los más comunes.

Atendiendo al **espesor** del revestimiento, o a la relación entre el diámetro del alma y el del revestimiento (ver figura 10.7), los electrodos se clasifican en:

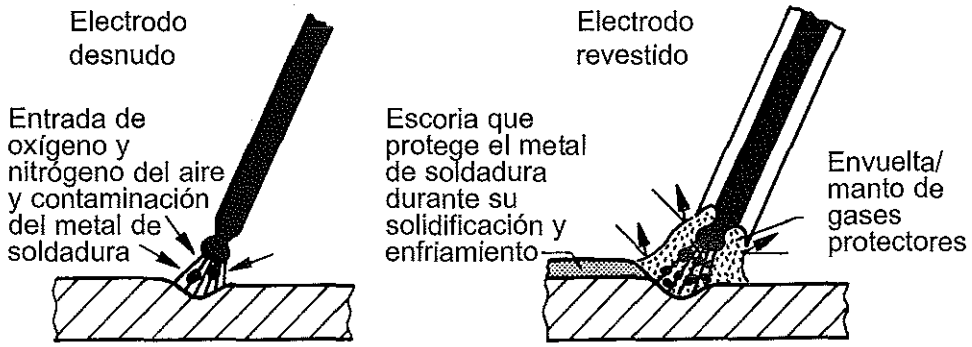
- **Delgados**: Los electrodos de revestimiento delgado protegen poco el metal fundido, por lo que sólo se utilizan en el aprendizaje de las técnicas de soldeo.
- **Medios**: Estos electrodos obtienen mayor estabilidad del arco, permiten el soldeo con corriente alterna y protegen mejor al metal soldado, la escoria recubre al metal ya solidificado reduciendo la velocidad de enfriamiento y la oxidación.
- **Gruesos**: Los electrodos con revestimiento grueso permiten obtener las mejores cualidades del metal soldado.

FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO

- Facilitan el cebado y estabilizan el arco.



- Protegen el metal fundido impidiendo la entrada del oxígeno y del nitrógeno del aire que sería muy perjudicial para la soldadura. Para ello:
  - Se producen gases que envuelven el arco.
  - Se produce escoria que recubre el metal fundido hasta que solidifique y se enfríe. La escoria protege el metal fundido desde el primer momento de la formación de las gotas.


Electrodo desnudo
Entrada de oxígeno y nitrógeno del aire y contaminación del metal de soldadura
Electrodo revestido
Escoria que protege el metal de soldadura durante su solidificación y enfriamiento
Envuelta/ manto de gases protectores

- Compensa la pérdida de elementos de aleación que se produce durante la fusión del metal base, o aporta elementos de aleación para mejorar las características del metal base.

FIGURA 10.6: FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO

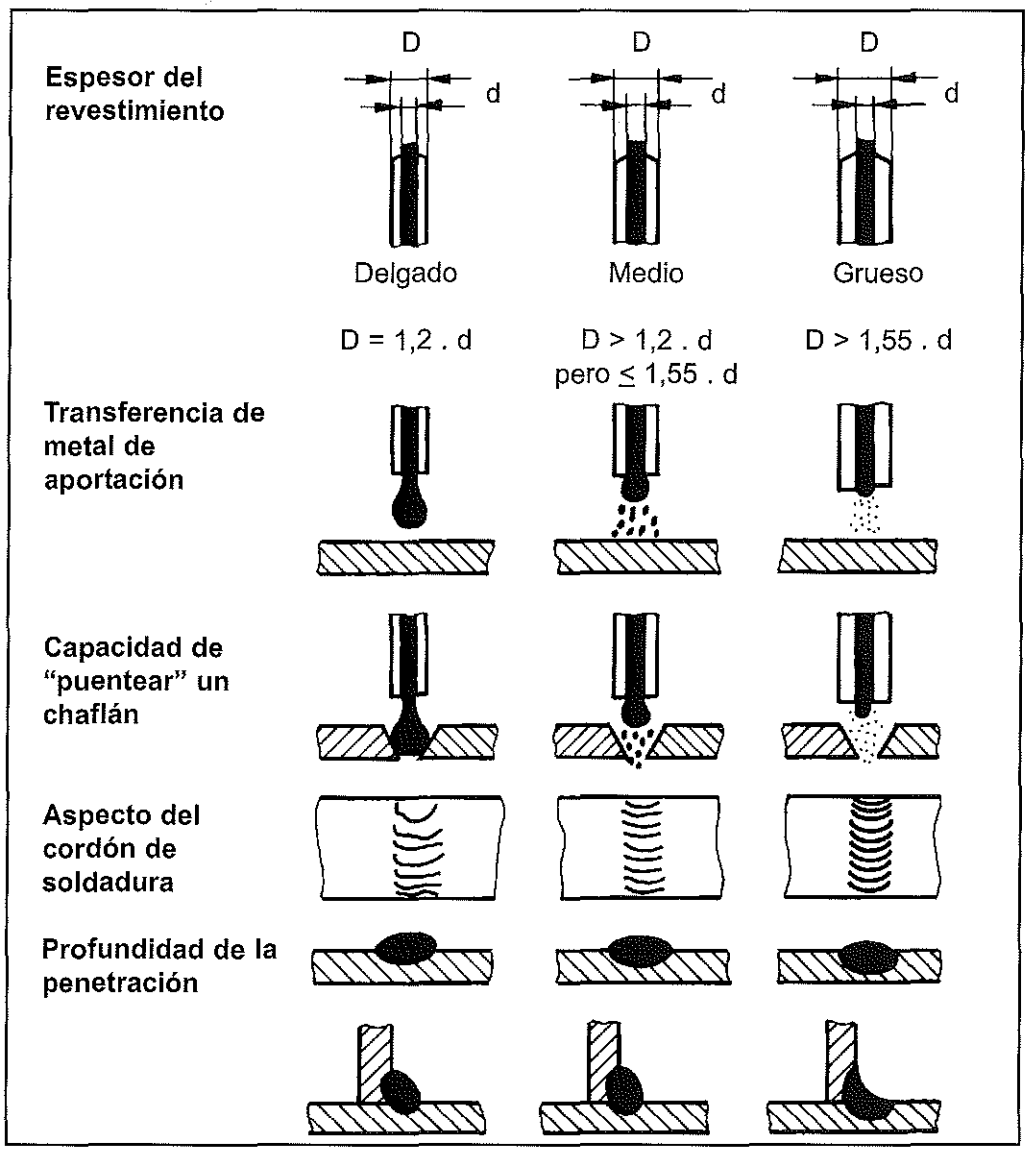


FIGURA 10.7: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTRODOS EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL REVESTIMIENTO

10.5. Tipos de Revestimiento

Se indicarán primero los tipos de revestimiento que se pueden encontrar en los electrodos de acero al carbono, luego los revestimientos más comunes en los aceros aleados y aleaciones no férreas.

10.5.1. Revestimientos de los electrodos de acero al carbono

El revestimiento se clasifica en función de su composición que determinará sus cualidades y aplicaciones, agrupándose y designándose como sigue (según UNE-EN 287-1):

- Ácido (A)
- Básico (B)
- Celulósico (C)
- Rutilo (R)
- Rutilo-ácido (RA)
- Rutulo-básico (RB)
- Rutilo-celulósico (RC)
- Rutilo grueso (RR)
- Otros (S)

En las siguientes tablas se indica la composición, características y aplicaciones de los revestimientos más utilizados.

Electrodos ácidos (A)
Composición del revestimiento: Óxidos de hierro y manganeso.
Características de la escoria: Bastante **fluida**, de aspecto **poroso** y abundante.
Ventajas: La **velocidad de fusión es bastante elevada**, así como la **penetración**. Se puede utilizar con intensidades elevadas.
Limitaciones: Sólo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario puede presentarse fisuración en caliente ya que los componentes del revestimiento no son capaces de extraer el azufre y el fósforo como puede hacerlo los revestimientos básicos.
Posición: Especialmente indicados para posición plana, pero pueden utilizarse también en otras posiciones.
Tipo de corriente: c.c y c.a.

Electrodos de rutilo (R)

Composición del revestimiento: Rutilo (óxidos de titanio).

Características de la escoria: Es muy densa y viscosa

Ventajas: Fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.

Posición: Todas. Especialmente adecuado para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.

Aplicaciones: Es el electrodo más comunmente utilizado.

Tipo de corriente: c.a y c.c.

Electrodos rutilo-ácido (RA)

Composición del revestimiento: Óxido de hierro o de manganeso y rutilo (óxido de titanio)

Sus propiedades son similares a los electrodos de tipo ácido, aunque son más manejables, porque mantienen mejor el arco debido a la presencia del óxido de titanio.

Electrodos de tipo rutilo grueso (RR)

Iguales que los de rutilo pero con revestimiento más grueso.

Electrodos básicos (B)

Composición del revestimiento: Carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos.

Características de la escoria: es densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.

Ventajas: Metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Son de bajo contenido en hidrógeno (el metal depositado tendrá bajo contenido en hidrógeno) lo que reduce la fisuración en frío.

Electrodos básicos (B) (continuación)

Limitaciones: Su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades poco altas.

Son muy higroscópicos (absorben humedad con gran facilidad), por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservados en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo, extremando las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldadura de aceros con problemas de temple.

Aplicaciones: Soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad

Posición: Todas las posiciones

Tipo de corriente: Corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

Electrodos celulósicos (C)

Composición del revestimiento: Sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor.

Características de la escoria: La escoria que producen es escasa y se separa con gran facilidad.

Ventajas: Los gases forman una gran envoltura gaseosa en torno al arco e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.

Limitaciones: Muchas proyecciones. Superficie de la soldadura muy irregular.

Posición: Todas.

Aplicaciones: Se emplean principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.

Tipo de corriente: Corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una máquina con tensión de vacío muy elevada.

Otros (S)
Este grupo engloba todos aquellos electrodos que no tienen unas características que permitan encajarlos en alguno de los grupos anteriores.

10.5.2. Revestimientos de los electrodos de aceros aleados y materiales no férreos

Los revestimientos más comunes para los aceros aleados (de baja, media o alta aleación) son los de tipo básico y de tipo rutilo, siendo más frecuentes los primeros.

El revestimiento de los electrodos de aleaciones no férreas suele depender en gran medida de la aleación en cuestión, aunque predominan los revestimientos de tipo básico.

10.5.3. Electrodos con polvo de hierro en el revestimiento

Se pueden introducir polvos de diferentes metales en el revestimiento para compensar la pérdida de elementos de aleación, que se produce durante la fusión del electrodo, o para aportar elementos de aleación y mejorar así las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Uno de los elementos que se agregan al revestimiento de los electrodos de acero (al carbono, de baja aleación, inoxidables y de alta aleación) es el polvo de hierro (ver figura 10.8), que permite aumentar la cantidad de metal depositado y mejorar el comportamiento del arco.

Ventajas:

- El arco es más estable.
- Se requiere menor destreza para utilizarlo correctamente, ya que el crisol formado en el extremo del electrodo es mayor y puede arrastrarse a lo largo de la superficie de la pieza manteniéndose el arco de soldeo. A los electrodos con polvo de hierro se les denomina "electrodos de arrastre", por poder utilizar esta técnica.

- Aumenta la cantidad de metal depositado para un determinado diámetro del alma, ya que se aporta también el hierro procedente del revestimiento. De esta forma aumenta la tasa de deposición (peso de material depositado por unidad de tiempo) y la velocidad de soldeo.

Limitaciones:

- Solo se pueden emplear en posición plana.

El **rendimiento gravimétrico** de un electrodo es la relación entre el metal depositado durante el soldeo y el peso del alma de los electrodos empleados, multiplicado por cien para determinarlo en tanto por cien.

$$\text{Rendimiento gravimétrico en \%} = \frac{\text{Peso del metal depositado}}{\text{Peso del alma}} \times 100$$

Electrodos de gran rendimiento

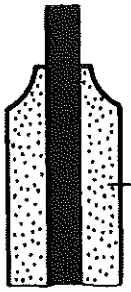
Cualesquiera que sean las características del electrodo, y siempre que su rendimiento gravimétrico sea superior al 110%, el electrodo se denomina de gran rendimiento.

10.6. Conservación y Manipulación de los Electrodos

El revestimiento del electrodo es muy frágil, si se emplean electrodos con el revestimiento agrietado, o desprendido, la protección del baño de fusión no será perfecta, además disminuirá la estabilidad del arco; por tanto se deben transportar y almacenar en recipientes suficientemente resistentes evitando cualquier golpe en su manipulación. No se deben utilizar los electrodos que presenten algún defecto en su revestimiento.

Nunca se deberá transportar un número de electrodos mayor que el que se considere va a ser necesario para una tarea determinada.

Manipular los electrodos con guantes limpios y secos. No exponer los electrodos a ambientes excesivamente húmedos ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura o suciedad.

Electrodo normal (sin polvo de hierro) 4 mm x 450 mm	**Electrodo con polvo de hierro** 4 mm x 450 mm
	
Peso del alma = 40 gramos	Peso del alma = 40 gramos
Peso del metal depositado= 40 gramos	Peso del metal depositado= 70 gramos
Rendimiento gravimétrico = (40/40) . 100 = 100%	Rendimiento gravimétrico = (70/40) . 100 = 175%
Tiempo de soldeo = 70 segundos	Tiempo de soldeo = 70 segundos

Resultado

Longitud de soldadura mayor en el mismo tiempo.

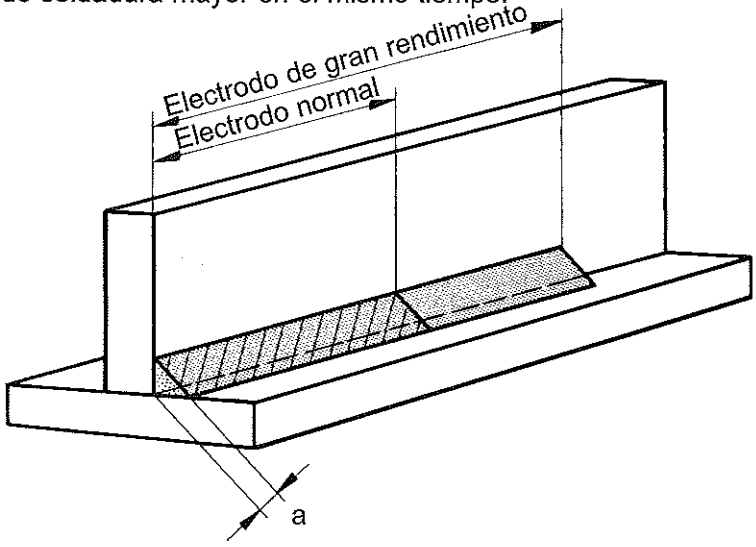


FIGURA 10.8: COMPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO Y LOS ELECTRODOS NORMALES

Los revestimientos de los electrodos son higroscópicos (absorben y retienen la humedad con gran facilidad). Si se utiliza un electrodo húmedo se pueden provocar poros, además de grietas en frío. Para disminuir los problemas de la humedad, los electrodos revestidos deben ser embalados, almacenados y manejados en las condiciones adecuadas. Los electrodos deben almacenarse en locales limpios y dotados de una regulación de temperatura y humedad adecuadas.

Los electrodos básicos (de bajo contenido en hidrógeno), que por unas causas u otras hayan permanecido expuestos a la humedad ambiente durante algún tiempo, deber ser sometidos a un proceso de secado en estufa. Para seleccionar la temperatura y tiempo de secado se deberán seguir las recomendaciones del fabricante del electrodo, dado que los límites de temperatura y tiempo pueden variar de un fabricante a otro incluso para los electrodos de la misma clasificación. Un calentamiento excesivo puede dañar el revestimiento del electrodo. Cuando se emplean este tipo de electrodos se debe disponer de pequeñas estufas, en lugares cercanos a los de trabajo, en donde se mantengan los electrodos a temperaturas uniformes de 65 a 150 ºC (temperatura de mantenimiento) de la que se vayan sacando en número reducido para su utilización más inmediata. En la figura 10.9 se ha representado el proceso de secado para electrodos de bajo contenido en hidrógeno. Los valores de temperatura y tiempo se facilitan únicamente como ejemplo.

10.7. Parámetros de Soldeo

10.7.1. Diámetro del electrodo

En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Los **electrodos de mayor diámetro** se seleccionan para el soldeo de materiales de gran espesor y para el soldeo **en posición plana**.

En el soldeo **en posición cornisa, vertical y bajo techo** el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es tanto más acusado, y tanto más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste, es decir cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá **utilizar electrodos de menor diámetro**.

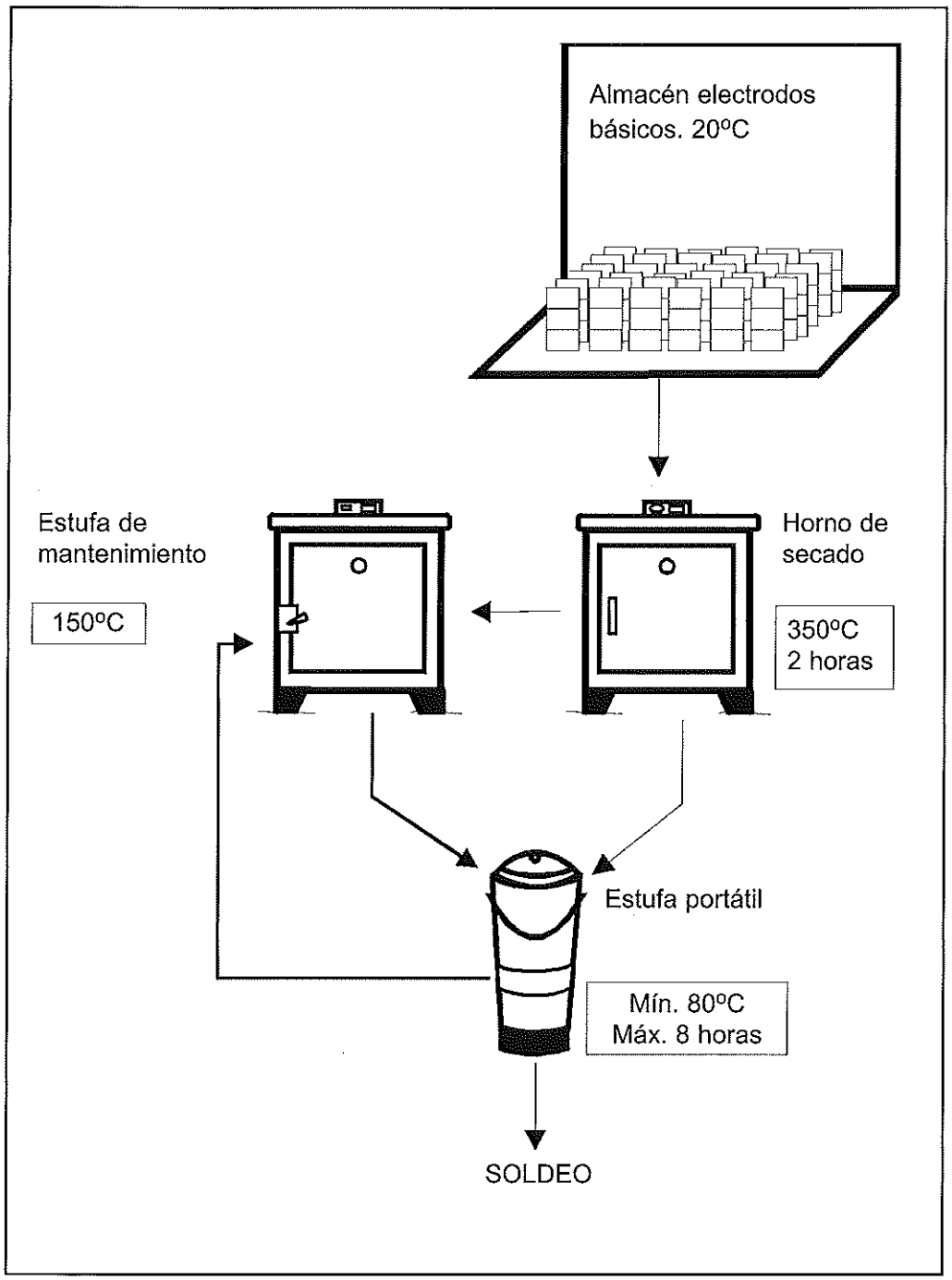


FIGURA 10.9: PROCESO DE SECADO DE ELECTRODOS BÁSICOS (BAJO HIDRÓGENO)

Asimismo, en el soldeo con **pasadas múltiples el cordón de raíz** conviene efectuarlo con un electrodo de **pequeño diámetro**, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al **fondo de la unión** y asegurar una buena penetración, se utilizarán electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

El **aporte térmico** depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales **donde se requiera que el aporte térmico sea bajo** se deberán utilizar **electrodos de pequeño diámetro**.

Por tanto, se deberán emplear:

- Electrodos de poco diámetro (2; 2,5; 3,25; 4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- Electrodos de mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

10.7.2. Intensidad de soldeo

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se debe utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. Las figuras 10.10 (B) y (C) muestran el efecto de la intensidad en un cordón de soldadura. Cuanto mayor sea la intensidad utilizada mayor será la penetración.

La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión. En la figura 10.11 se ha indicado el nivel de intensidad dentro del rango que se recomienda en función de las diferentes posiciones de soldeo, para ello se ha tomado como ejemplo un electrodo de 2,5 mm de acero al carbono.

Como regla práctica y general, se deberá ajustar la intensidad a un nivel en el que "la cavidad" del baño de fusión sea visible (ver figura 10.12). Si esta cavidad, conocida por su forma como ojo de cerradura, se cierra, significa que la intensidad de soldeo es demasiado baja y si se hace muy grande indica que la intensidad es excesiva.

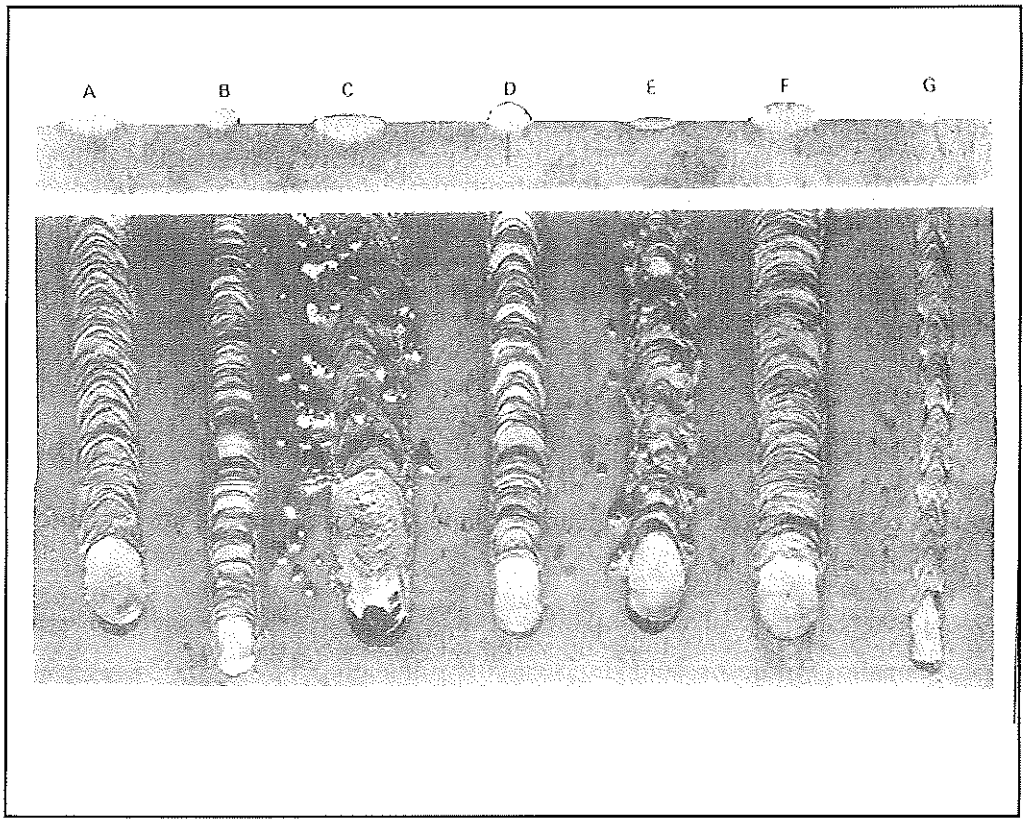


FIGURA 10.10: EFECTO DEL AMPERAJE, LONGITUD DEL ARCO Y VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO; (A) AMPERAJE, LONGITUD DE ARCO Y VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO APROPIADAS; (B) AMPERAJE DEMASIADO BAJO; (C) AMPERAJE DEMASIADO ALTO; (D) LONGITUD DE ARCO DEMASIADO CORTA; (E) LONGITUD DE ARCO DEMASIADO LARGA; (F) VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEMASIADO LENTA; (G) VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEMASIADO RÁPIDA

10.7.3. Longitud del arco

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. (ver figura 10.13).

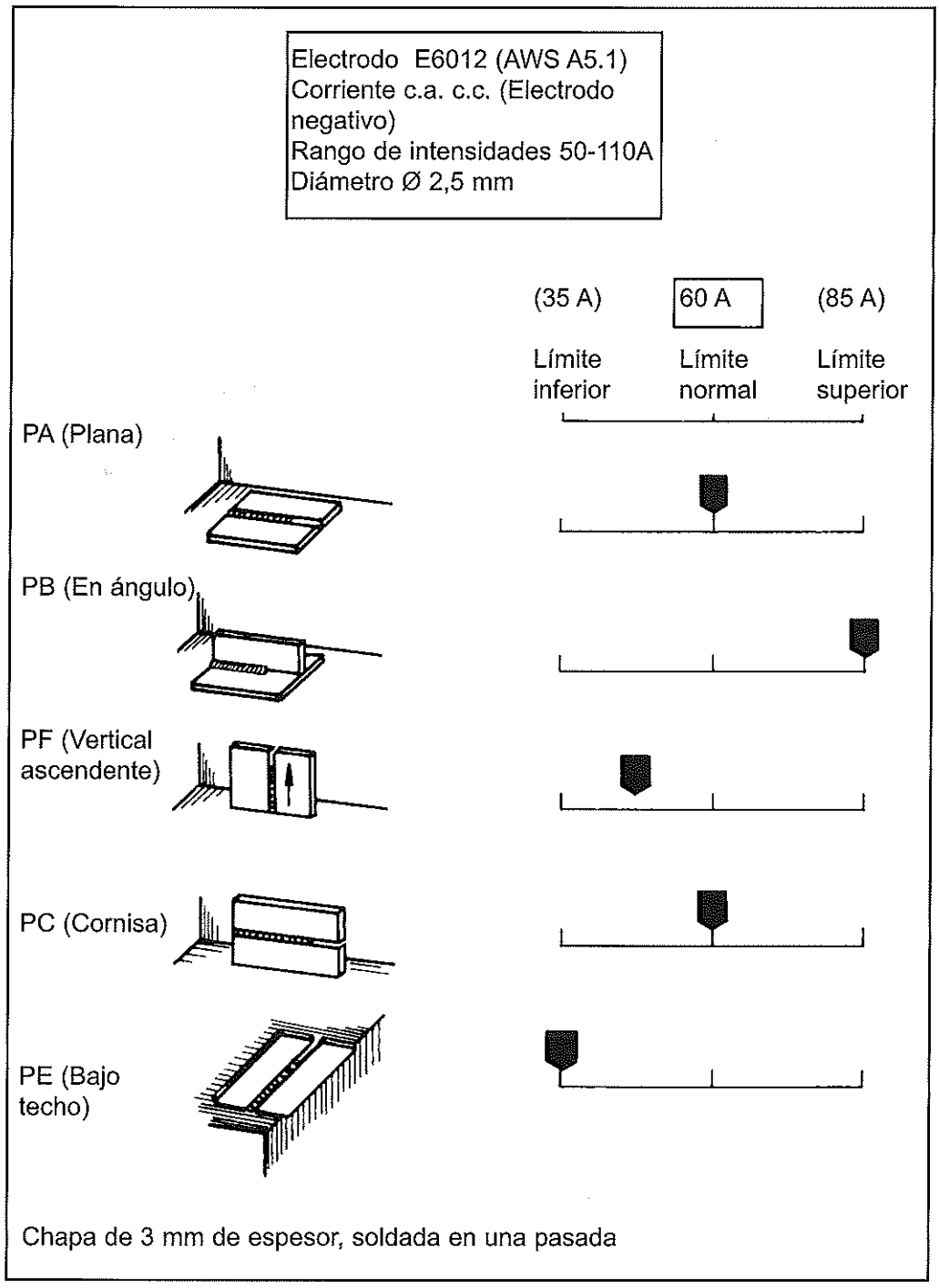


FIGURA 10.11: INTENSIDAD DE SOLDEO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN

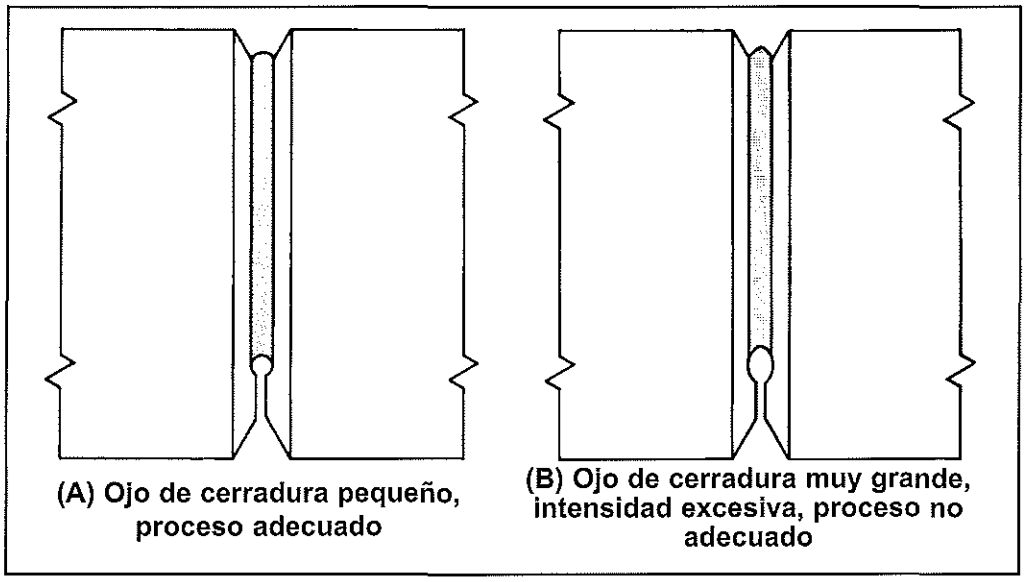


FIGURA 10.12: TAMAÑO DE LA CAVIDAD (OJO DE CERRADURA)

Arco normal

Utilizado con casi todos los electrodos.

Arco largo

Si la longitud es excesiva pierde fuerza, direccionalidad y capacidad de protección, con lo que se pueden producir soldaduras porosas.

Arco corto

Utiilzada con electrodos básicos.

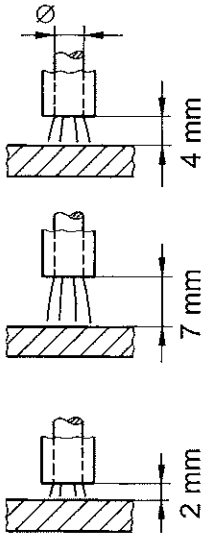


FIGURA 10.13: LONGITUDES DE ARCO NORMALES PARA UN ELECTRODO DE 4 MM Ø

Es conveniente mantener siempre la misma longitud del arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. En el soldeo en posición plana, sobre todo cuando se utilizan

electrodos de revestimiento grueso, se puede arrastrar ligeramente el extremo del electrodo, con lo que la longitud del arco vendrá automáticamente determinada por el espesor del revestimiento. En las primeras pasadas de las uniones a tope y en las uniones en ángulo, el arco se empuja hacia la unión para mejorar la penetración. Cuando se produzca soplo magnético, la longitud del arco se debe acortar todo lo posible.

Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal, un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno. En las figuras 10.10 (D) y (E) se muestra el efecto de la longitud del arco en soldaduras de acero al carbono.

10.7.4. Velocidad de desplazamiento

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros). En las figuras 10.10 (F) y (G) se muestra el efecto de la velocidad de desplazamiento.

10.7.5. Orientación del electrodo

En la tabla 10.2 se relacionan las orientaciones típicas de los electrodos y las técnicas de soldeo con electrodos para acero al carbono, que pueden variar para otros materiales.

Tipo de unión	Posición de soldeo	Ángulo de trabajo*	Ángulos de desplazamiento*	Técnica de soldeo*
Chaflán	Plana	90°	5° - 10° (1)	Hacia atrás
Chaflán	Horizontal	80° - 100°	5° - 10°	Hacia atrás
Chaflán	Ascendente	90°	5° - 10°	Hacia delante
Chaflán	Bajo Techo	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Ángulo	Horizontal	45°	5° - 10° (1)	Hacia delante
Ángulo	Ascendente	35° - 55°	5° - 10°	Hacia delante
Ángulo	Bajo Techo	30° - 45°	5° - 10°	Hacia atrás

* Ver figura 5.17.

(1) El ángulo de desplazamiento puede ser de 10 a 40° para electrodos con revestimientos gruesos de polvo de hierro.

TABLA 10.2: ORIENTACIONES DE LOS ELECTRODOS Y TÉCNICAS DE SOLDEO TÍPICAS EN EL SOLDEO POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS PARA ACEROS AL CARBONO

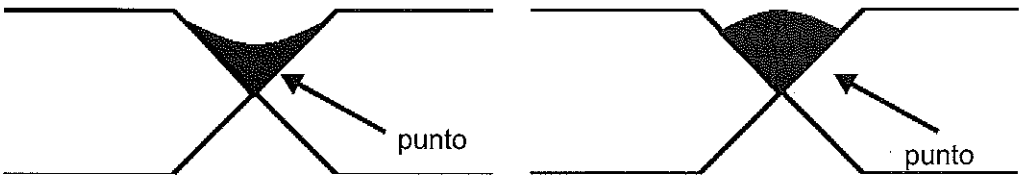
10.8. Técnicas Operativas

10.8.1. Punteado

A continuación se resume lo indicado en la norma UNE 14055 referente al punteado con electrodos revestidos:

- El punteado se realizará con el mismo precalentamiento que se vaya a utilizar en el soldeo.
- El punteado que vaya a ser incorporado a la soldadura se realizará con el mismo tipo de electrodo que se vaya a utilizar en el soldeo. Una vez realizado el punteado y eliminada la capa de escoria, debe inspeccionarse cuidadosamente cada punto, buscando posibles grietas o cráteres. En caso de que se detectara alguno de los defectos citados, éste se eliminará completamente.
- El punteado que no vaya a ser incorporado a la soldadura será eliminado, repasando posteriormente la zona hasta garantizar la ausencia de defectos.

- El punto de soldadura debe tener siempre una forma cóncava (nunca convexa), en caso de que se produjese abombamiento se repasará el punto hasta dejarlo con forma cóncava, de lo contrario podrían formarse grietas.



BIEN MAL

- Si la longitud a soldar es larga, el punteado se iniciará en el centro de la pieza (ver capítulo 21). En las cruces y esquinas los últimos puntos deben darse como mínimo a 200 mm.

10.8.2. Inspección antes de soldar

Antes de comenzar a soldar, se debe hacer una inspección ocular comprobando que:

- Las uniones están perfectamente limpias de óxidos, grasas, aceite, agua y proyecciones y se ha efectuado la limpieza especificada en función del material base.
- Las chapas están bien niveladas y alineadas.
- Los puntos previos están bien realizados, sin poros, grietas ni abultamientos. Si existe alguna de estas anomalías se eliminarán, empleando piqueta, cepillo, soplete... Si fuese necesario se resanarán o se eliminarán los puntos.

10.8.3. Establecimiento o cebado del arco

El arco se establece golpeando ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza en las proximidades del lugar donde el soldeo vaya a comenzar, a continuación se retira lo suficiente de forma rápida para producir un arco de la longitud adecuada (ver figura 10.14). Otra técnica de establecer el arco es mediante un movimiento de raspado similar al que se aplica para encender una cerilla. Cuando el electrodo toca la pieza, se manifiesta una tendencia a mantenerse juntos,

lo cual se evita por medio del golpeteo y del raspado. Cuando el electrodo se pega es necesario apartarlo rápidamente, de otra forma se sobrecalenterá y los intentos para retirarle de la pieza sólo conseguirán doblarle, siendo preciso entonces, para su retirada el empleo de martillo y cortafrío.

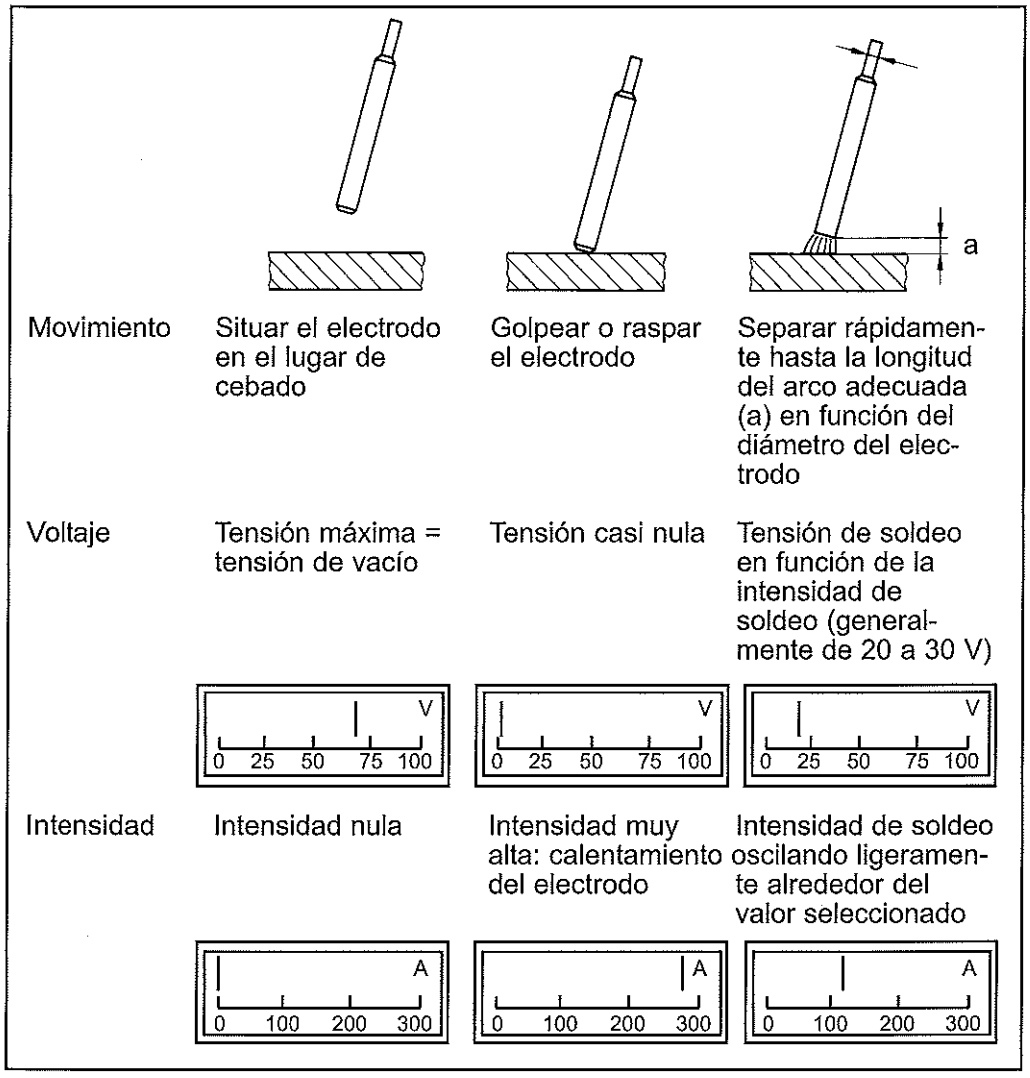

a
Movimiento
Situar el electrodo en el lugar de cebado
Golpear o raspar el electrodo
Separar rápidamente hasta la longitud del arco adecuada (a) en función del diámetro del electrodo
Voltaje
Tensión máxima = tensión de vacío
Tensión casi nula
Tensión de soldeo en función de la intensidad de soldeo (generalmente de 20 a 30 V)
V
0 25 50 75 100
Intensidad
Intensidad nula
Intensidad muy alta: calentamiento del electrodo
Intensidad de soldeo oscilando ligeramente alrededor del valor seleccionado
A
0 100 200 300

FIGURA 10.14: ESTABLECIMIENTO DEL ARCO

El establecimiento del arco con electrodos de bajo hidrógeno requiere una técnica especial para evitar la porosidad de la soldadura donde el arco se inicia. La técnica consiste en establecer el arco a una distancia de unos pocos diámetros del electrodo por delante del lugar donde vaya a comenzar el soldeo. A continuación el arco se mueve hacia atrás y el soldeo se comienza de forma normal. El soldeo

continua sobre la zona en la cual el arco fue establecido, refundiendo cualquier pequeño glóbulo de metal de soldadura que pudiese haberse producido cuando se estableció el arco.

En cualquier caso, es imprescindible establecer el arco dentro de la zona de soldeo y por delante de ella, nunca fuera de los bordes de la unión (ver figura 10.15), se evita de esta forma la formación de pequeñas grietas en la zona de cebado.

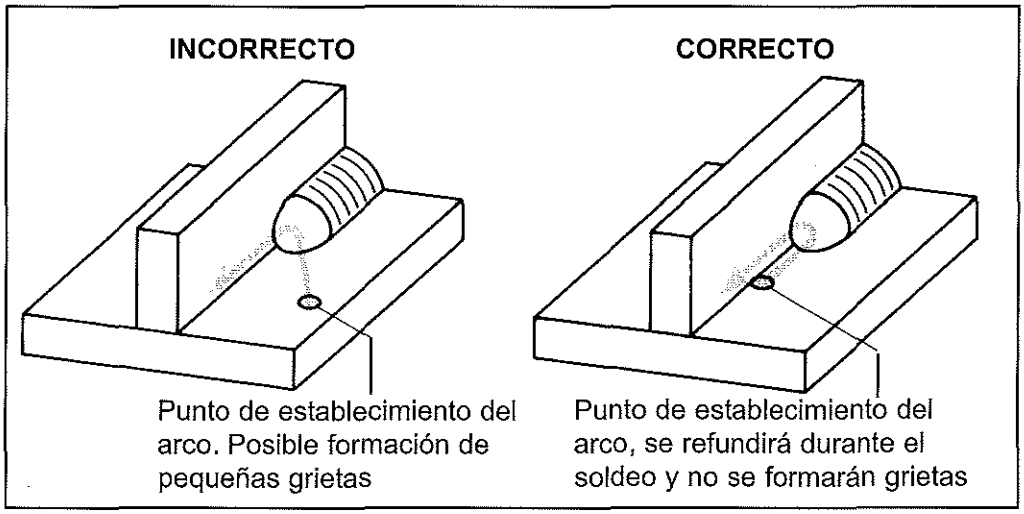

INCORRECTO
CORRECTO
Punto de establecimiento del arco. Posible formación de pequeñas grietas
Punto de establecimiento del arco, se refundirá durante el soldeo y no se formarán grietas

FIGURA 10.15: ESTABLECIMIENTO DEL ARCO EN LA POSICIÓN CORRECTA

La técnica para reestablecer el arco varía, hasta cierto punto, con el tipo de electrodo. Generalmente, el revestimiento en el extremo del electrodo se hace conductor cuando se calienta durante el soldeo. Esto ayuda a reestablecer el arco si ello se efectúa antes de que el electrodo se enfríe. El establecimiento y reestablecimiento del arco es mucho más fácil con los electrodos que contienen cantidades importantes de polvos metálicos en su revestimiento. Cuando se emplean electrodos con revestimientos gruesos no conductores, tal como los de bajo hidrógeno y los de acero inoxidable, puede ser necesario tener que romper algo del revestimiento para que el núcleo quede descubierto en el extremo y el arco se establezca con mayor facilidad.

10.8.4. Observación del baño de fusión

Es muy importante distinguir entre baño de fusión y escoria. Hay que procurar que la escoria no se adelante al baño de fusión y que éste bañe por igual ambos lados de la unión.

Un defecto muy corriente, cuando no se controla bien la escoria, es su inclusión en el cordón de soldadura una vez solidificado éste. Para contener la escoria se podrá hacer un movimiento de vaivén del electrodo.

10.8.5. Ejecución del soldeo

Durante el soldeo, el soldador deberá mantener la longitud del arco lo más constante posible, moviendo uniformemente el electrodo hacia la pieza según éste se va fundiendo. Al mismo tiempo, el electrodo se mueve también uniformemente a lo largo de la unión en la dirección del soldeo.

La elección entre cordones rectos o con balanceo dependerá de las exigencias del procedimiento y del tipo de cordón. En general, las primeras pasadas se hacen con cordones rectos (menos cuando la separación en la raíz es muy grande). Cuando se realicen cordones con balanceo en posiciones PB y PC se deberá llevar más avanzada la parte baja del cordón (ver figura 10.16).

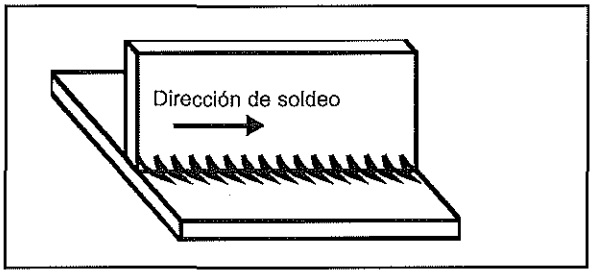


FIGURA 10.16: AL REALIZAR CORDONES CON BALANCEO EN POSICIÓN PB SE DEBE LLEVAR MÁS AVANZADA LA PARTE BAJA DEL CORDÓN

El movimiento debe ser simétrico y el avance uniforme, ya que de ello depende el buen aspecto de la soldadura, así como su calidad y reparto uniforme de calor.

En las posiciones cornisa y bajo techo a tope, cuando la unión tiene excesiva separación en la raíz, las primeras pasadas deben depositarse dando, además del movimiento oscilatorio, un pequeño vaivén de avance y retroceso al electrodo, a fin de dar tiempo a que se solidifique el baño de fusión, evitando así la caída del material fundido.

10.8.6. Interrupción del arco de soldeo

Nunca se debe interrumpir el arco de forma brusca, ya que pueden producirse grietas y poros en el cráter del cordón.

El arco puede interrumpirse por medio de cualquiera de las diferentes técnicas posibles:

- Acortar el arco de forma rápida y, a continuación, mover el electrodo lateralmente fuera del cráter. Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar el electrodo ya consumido, continuando el soldeo a partir del cráter.
- Otra técnica es la de detener el movimiento de avance del electrodo y permitir el llenado del cráter, retirándose a continuación el electrodo.
- Otra forma es dar al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba y se retrocede, sobre el mismo cordón, unos 10 ó 12 mm. antes de interrumpir el arco; de esta forma se rellena el cráter. (ver figura 10.17)

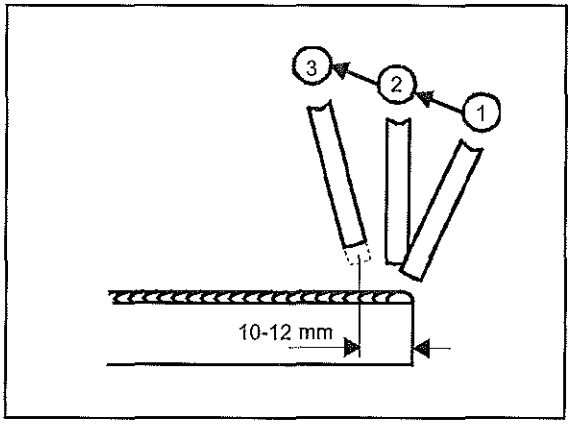


FIGURA 10.17: FORMA DE INTERRUMPIR EL ARCO

10.8.7. Empalmes de los cordones de soldadura

Deben realizarse de forma cuidada, para evitar fisuras e inclusiones de escoria. Tal como se indica en la figura 10.18 se rellena el cráter y se evita la porosidad y las inclusiones de escoria.

La limpieza de los cordones de soldadura es esencial para que la unión entre metales se realice correctamente y sin defectos. Se utilizará una piqueta y un cepillo de alambre. El material de los alambres del cepillo y de la piqueta dependerá del material base, por ejemplo, nunca se utilizarán de acero al carbono cuando el material base sea de acero inoxidable sino que será también de este último material.

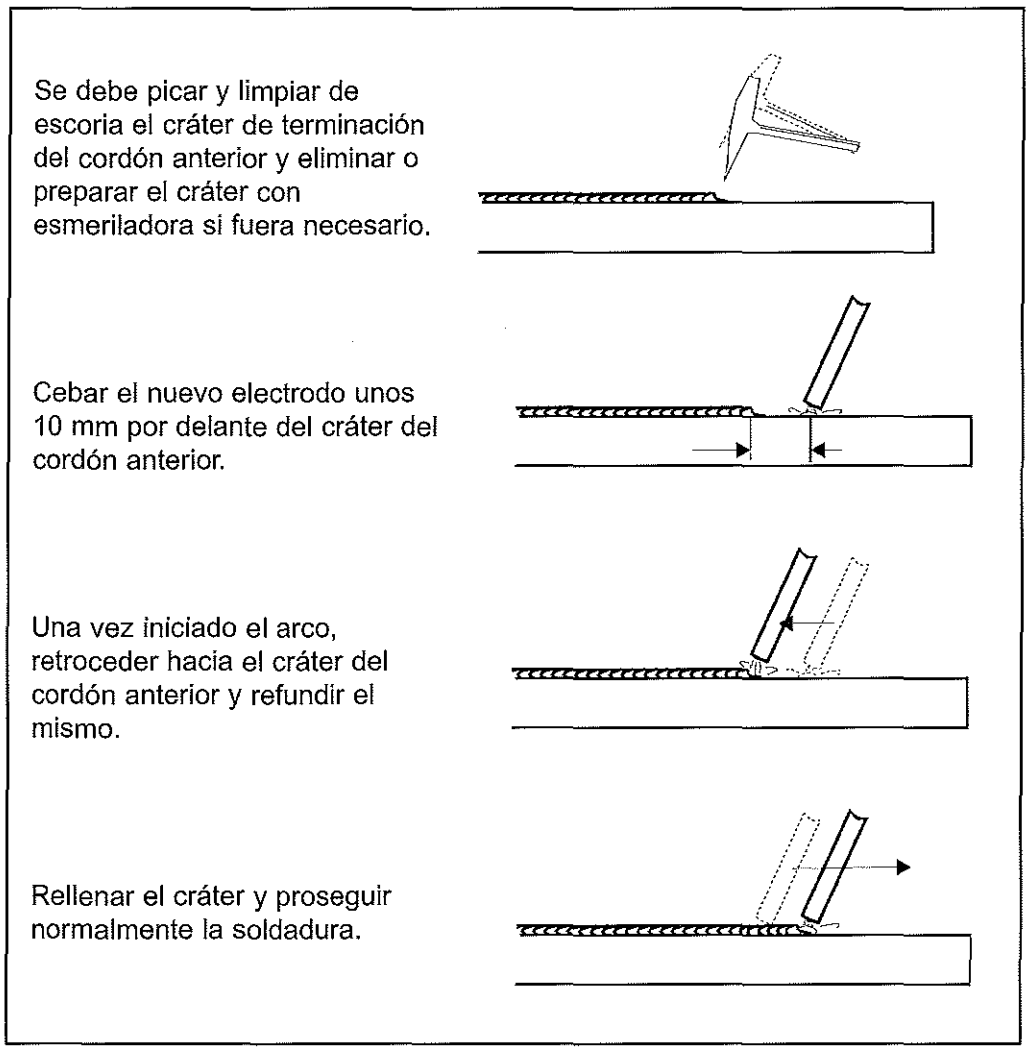

Se debe picar y limpiar de escoria el cráter de terminación del cordón anterior y eliminar o preparar el cráter con esmeriladora si fuera necesario.
Cebar el nuevo electrodo unos 10 mm por delante del cráter del cordón anterior.
Una vez iniciado el arco, retroceder hacia el cráter del cordón anterior y refundir el mismo.
Rellenar el cráter y proseguir normalmente la soldadura.

FIGURA 10.18: REALIZACIÓN CORRECTA DE LOS EMPALMES DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

10.8.8. Retirada de la escoria

Una vez depositada una pasada completa de soldadura, debe picarse la escoria y cepillar la totalidad del cordón antes de realizar la pasada siguiente.

Se deberá retirar la escoria especialmente en las proximidades de las caras del chaflán que es donde se puede quedar ocluida, utilizando esmeriladora si fuera necesario. (Ver figura 10.19). También se deberá eliminar el sobreespesor del cordón cuando éste sea excesivo antes de depositar el siguiente (ver figura 10.19).

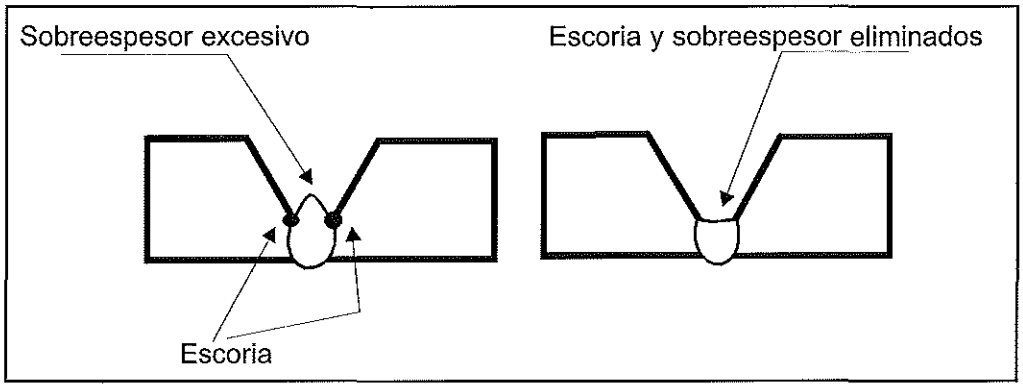


FIGURA 10.19: ELIMINAR EL SOBREESPESOR EXCESIVO Y LA ESCORIA ATRAPADA ANTES DE DEPOSITAR EL SIGUIENTE CORDÓN

Al finalizar la unión, deben quitarse, además de la escoria, las proyecciones más pronunciadas y cepillar totalmente la unión soldada.

Como medida de protección de los ojos, el soldador debe utilizar para picar y cepillar la soldadura una gafas con los cristales transparentes.

10.8.9. Soplo del arco

En el soldeo SMAW puede producirse con frecuencia el soplo magnético, se deberá tener las consideraciones explicadas en el capítulo 3.

En la figura 10.20 se recuerda una forma de aminorar el efecto soplo magnético cuando se produzca.

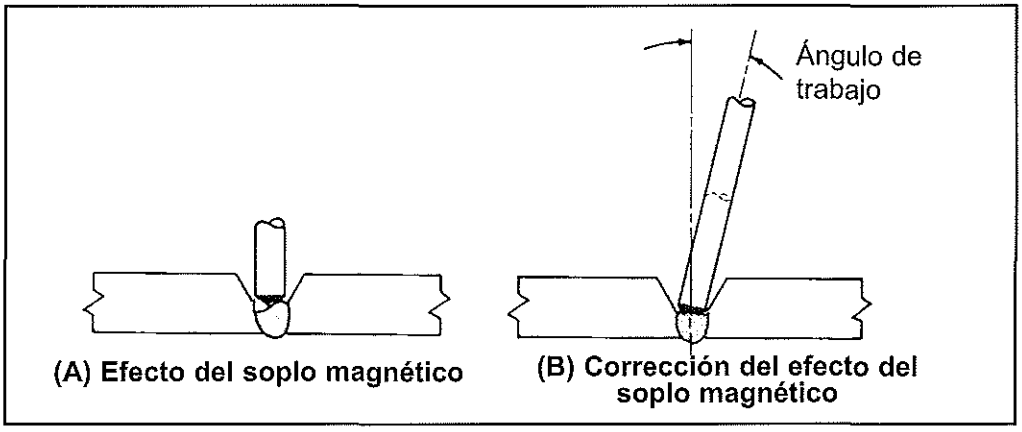
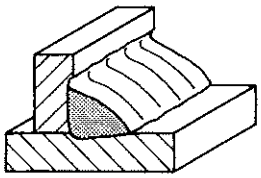


FIGURA 10.20: CORRECCIÓN DEL EFECTO DEL SOPLO MAGNÉTICO

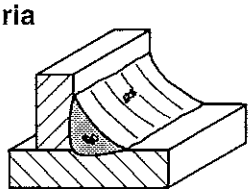
10.9. Defectos Típicos en las Soldaduras

Defecto: Mordeduras



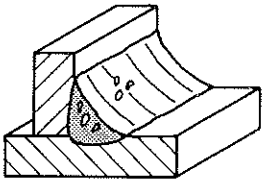
Causa	*Remedio*
- Intensidad de soldeo demasiado elevada.	- Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.
- Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño. (Electrodo perpendicular a la pieza).	- Inclinar el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10º.
- Arco largo.	- Utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o a la mitad de éste si el electrodo es básico.

Defecto: Inclusiones de escoria



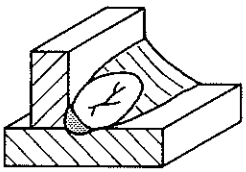
Causa	*Remedio*
- Intensidad muy baja.	- Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado se solidifique.
- Velocidad de desplazamiento elevada, que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria.	- Reducir la velocidad de desplazamiento.
- Soldeo multipasadas sin retirar la escoria del cordón anterior.	- Extremar la limpieza; siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón.

Defecto: Porosidad



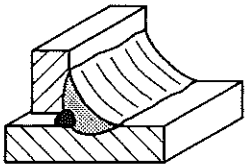
Causa	*Remedio*
- Suciedad en el metal base (óxidos, grasa, recubrimientos).	- Eliminar cualquier resto de grasa o suciedad antes del soldeo, eliminar también los recubrimientos que puedan tener las piezas.
- Arco demasiado largo.	- Utilizar una longitud de arco adecuada y mantenerla durante el soldeo.
- Electrodos húmedos.	- Conservar adecuadamente los electrodos evitando su contacto con cualquier fuente de humedad, utilizar estufas de mantenimiento y secar en horno antes del soldeo los electrodos básicos.

Defecto: Grietas en el cráter



Causa	*Remedio*
- Interrumpir el arco de forma brusca, especialmente cuando se suelda con altas intensidades.	- Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuada.

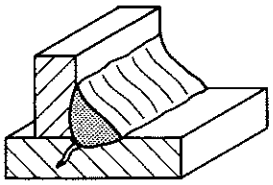
Defecto: Inclusiones de escoria en la raíz



Remedio

- Posicionar las piezas de forma que entre ellas siempre haya contacto.

Defecto: Grietas que parten de la intercara (metal de soldadura-metal base) de la unión



Causa	*Remedio*
- El material no es soldable.	- Utilizar las precauciones necesarias para el soldeo de ese material. No soldar.
- Enfriamiento de la soldadura excesivamente rápido.	- Evitar enfriamientos rápidos, naturales o provocados.

Defecto: Falta de fusión en los bordes

Causa	*Remedio*
- Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base.	- Limpiar el material base, los chaflanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión. Extremar la limpieza o decapado en el acero inoxidable y aleaciones de aluminio.
- Orientación inadecuada del electrodo.	- Orientar el electrodo correctamente.
- Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.	- Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.

Defecto: Falta de penetración

Causa	*Remedio*
- Talón de la raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesiva.	- Preparar y ensamblar las piezas de forma adecuada.

Defecto: Falta de penetración	
Causa	*Remedio*
- Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.	- Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.
- Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión.	- Seleccionar el diámetro adecuado.
- Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración.	- Seleccionar el diámetro adecuado.

Capítulo 11

Introducción al Soldeo por Arco Protegido con Gas

INDICE

11.1. Procesos de soldeo por arco que utilizan gas de protección.....230

11.2. Gases de protección.....230

11.2.1. Clasificación de los gases de protección.....231

11.2.2. Propiedades de los gases 231

11.2.3. Argón 233

11.2.4. Helio 233

11.2.5. Dióxido de Carbono, CO_2 235

11.2.6. Efecto de las adiciones de determinados gases al gas de protección 235

11.3. Gas de respaldo 236

11.4. Mezcladores de gas 239

11.5. Identificación de las botellas con los gases más utilizados en el soldeo y corte.....240

11.6. Designación de los gases para soldeo y corte por arco eléctrico.....240

11.1. Procesos de Soldeo por Arco que Utilizan Gas de Protección

Los procesos de soldeo por arco protegidos por gas más comunes son:

- Soldeo TIG.
- Soldeo MIG/MAG.
- Soldeo por plasma.
- Una de las dos variantes del proceso FCAW utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

La función primordial de los gases de protección es evitar que el metal a altas temperaturas, el baño de fusión y el electrodo se oxiden o contaminen con impurezas. Si el aire entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionará con el material produciendo óxidos, el nitrógeno puede causar porosidad y la humedad del aire puede también causar porosidad y provocar grietas.

Otra función importante de los gases de protección es la de facilitar la transferencia del material en la soldadura por arco, ionizándose para permitir el establecimiento del arco y la formación de la columna de plasma (ver capítulo 3).

11.2. Gases de Protección

Se utilizan básicamente tres gases como protección durante el soldeo:

- Argón.
- Helio
- Dióxido de Carbono[1]

Estos tres gases se utilizan tanto separadamente como mezclados entre sí. Se añaden en algunos casos pequeñas cantidades de:

- Oxígeno.
- Hidrógeno.
- Nitrógeno

1. El Dióxido de Carbono también se denomina anhídrico carbónico y su formulación química es CO_2.

11.2.1. Clasificación de los gases de protección

En la siguiente figura 11.1 se clasifican los gases en dos grandes grupos: activos e inertes, al lado de cada gas se indica su símbolo o fórmula química.

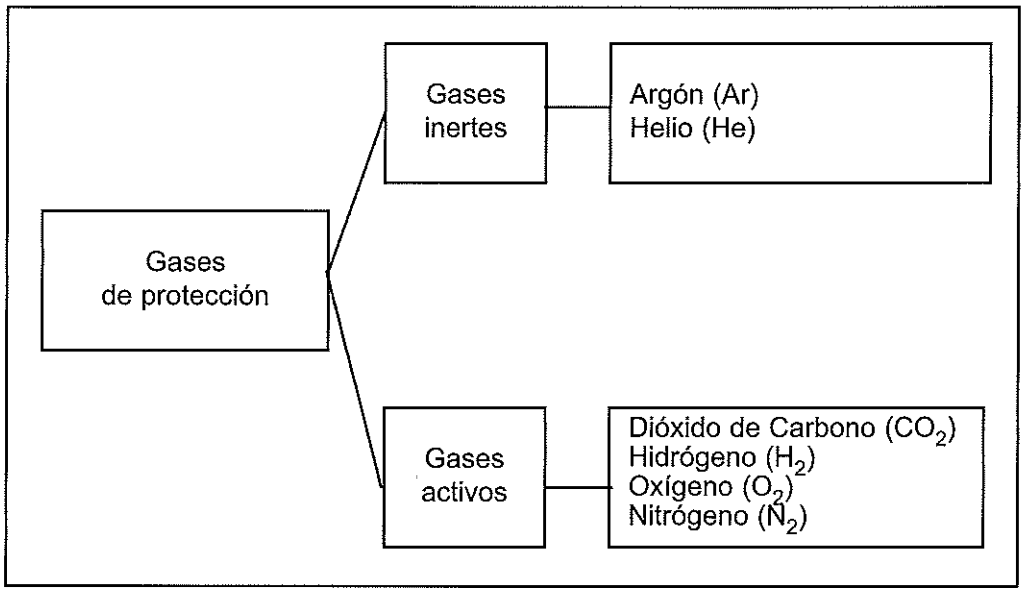


FIGURA 11.1: CLASIFICACIÓN DE LOS GASES DE PROTECCIÓN

Una mezcla de gases es activa siempre que alguno de sus componentes lo sea y sólo es inerte si todos sus componentes lo son; por tanto las mezclas Argón + CO_2, Argón + O_2, Argón + H_2, Argón + Helio + CO_2 ... son activas (independientemente del porcentaje del gas activo); sólamente es inerte la mezcla Argón + Helio.

Un gas se denomina activo porque reacciona químicamente de alguna forma a la temperatura del arco, al contrario que los inertes que permanecen inalterables en cualquier circunstancia.

11.2.2. Propiedades de los gases

Las propiedades o características de los gases a tener en cuenta son:

- Energía de ionización
- Densidad
- Conductividad

Energía de ionización

Recordemos que al establecerse un arco eléctrico el gas circulante se ioniza, es decir se produce la separación, con carácter reversible, de los átomos o moléculas del gas en iones y electrones: se forma la columna de plasma. También los gases formados con más de un átomo, como el nitrógeno (N_2) o el hidrógeno (H_2), se disocian, es decir se produce la separación, con carácter reversible, de los iones en sus átomos.

Para conseguir estos fenómenos, ionización y disociación, es necesario suministrar al gas una energía, denominada respectivamente de ionización y de disociación. En ambos casos esta energía la proporciona el propio arco eléctrico durante la operación de soldeo.

Cuando el gas ionizado o disociado entra en contacto con la pieza a soldar se enfría y el plasma se convierte de nuevo en gas; es decir los iones y átomos se vuelven a unir formando el gas en el mismo estado que antes de comenzar la operación de soldeo. Al unirse los átomos se libera la energía de ionización o de disociación que se transmite a la pieza.

Por tanto, cuanto mayor sea la energía de ionización de un gas más difícil será el establecimiento del arco, dificultad de cebado y menor estabilidad del arco, pero mayor será la energía que aporte a la pieza.

Como ejemplo: el argón posee una energía de ionización más baja que el helio razón por la cual el arco de argón aporta menos calor que el de helio.

La energía para ionizar cualquiera de los gases activos nombrados también es mayor que la energía de ionización del argón, consecuentemente aportarán mayor calor a la pieza.

Densidad

Cuanto mayor sea la densidad de un gas se requerirá menor caudal para obtener la misma protección, ya que cubrirá más fácilmente la zona de soldeo.

Como ejemplo: El argón posee una densidad más alta que el helio y la del CO_2 es mayor que la del argón, por lo tanto hará falta menos caudal de argón que de helio y menos de CO_2 que de argón para un mismo grado de protección.

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la facilidad para transmitir el calor. Cuanto mayor sea la conductividad térmica la distribución de temperaturas en el arco es más homogénea, dando lugar a cordones más anchos y penetración más uniforme. Ejemplo: La conductividad del argón es menor que la del helio, lo que supone que la penetración con helio es mayor que con argón.

11.2.3.Argón

Las características de este gas son:

- **Eficiente protección debido a su alta densidad.** El argón es 1,4 veces más pesado que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el aire. La densidad del argón es diez veces superior a la del helio. Debido a ello se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior al de argón para proporcionar al arco la misma protección. Debido a su mayor densidad , el argón es también más aconsejable para soldar en posición bajo techo y vertical y es menos sensible a las corrientes de aire.
- **Cebado fácil.** Es más fácil cebar el arco en argón que en helio, por la menor energía de ionización del argón. También es más fácil cebar el arco en argón que en CO_2 .
- **Buena estabilidad del arco.** El argón posee una baja energía de ionización, lo que facilita el cebado y origina arcos estables y tranquilos con pocas proyecciones. Esta cualidad es particularmente importante en el soldeo con corriente alterna.
- **Económico.** El argón es generalmente menos costoso que el helio, aunque es más caro que el CO_2 El empleo del helio resulta económico en Estados Unidos donde este gas suele acompañar al crudo en los pozos de petróleo.
- **Idóneo para pequeños espesores.** Al tener una energía de ionización reducida, necesita tensiones reducidas y produce, consecuentemente, arcos poco enérgicos, con aporte de calor reducido, resultando idóneo para el soldeo de piezas de pequeños espesores.
- **Forma del cordón y penetración.** El argón tiene una conductividad térmica más baja que el helio, por lo que el calor se concentra en la zona central del arco produciendo penetraciones de aspecto característico y similar al representado en la figura 11.2. El CO_2 tiene una conductividad intermedia entre la del helio y la del argón aunque más parecida a la del argón.

11.2.4. Helio

Las **características** más importantes del helio son:

- Potencial de ionización elevado.
- Alta conductividad por lo que la columna de plasma es ancha.
- Muy baja densidad.

Por tanto las **propiedades** más importantes del helio son:

- Aporte térmico muy elevado.
- Se obtienen cordones anchos y de gran penetración.
- Se puede realizar el soldeo a gran velocidad.

Debido a estas características la principales **aplicaciones** del helio son:

- Soldeo de grandes espesores.
- Soldeo automatizado donde se puedan emplear grandes velocidades.
- Soldeo de materiales de gran conductividad, por ejemplo el cobre, reduciéndose la necesidad de precalentamiento.

Sin embargo el helio tiene los siguientes **inconvenientes**:

- Poca estabilidad del arco en comparación con el argón.
- Debido a su baja densidad se requiere que el caudal sea muy elevado para una correcta protección, por lo tanto no suele resultar muy económico. En general el caudal debe ser de 2 a 2,5 veces el requerido con argón.

En muchas ocasiones se añade helio al argón para aumentar el aporte térmico y la penetración.

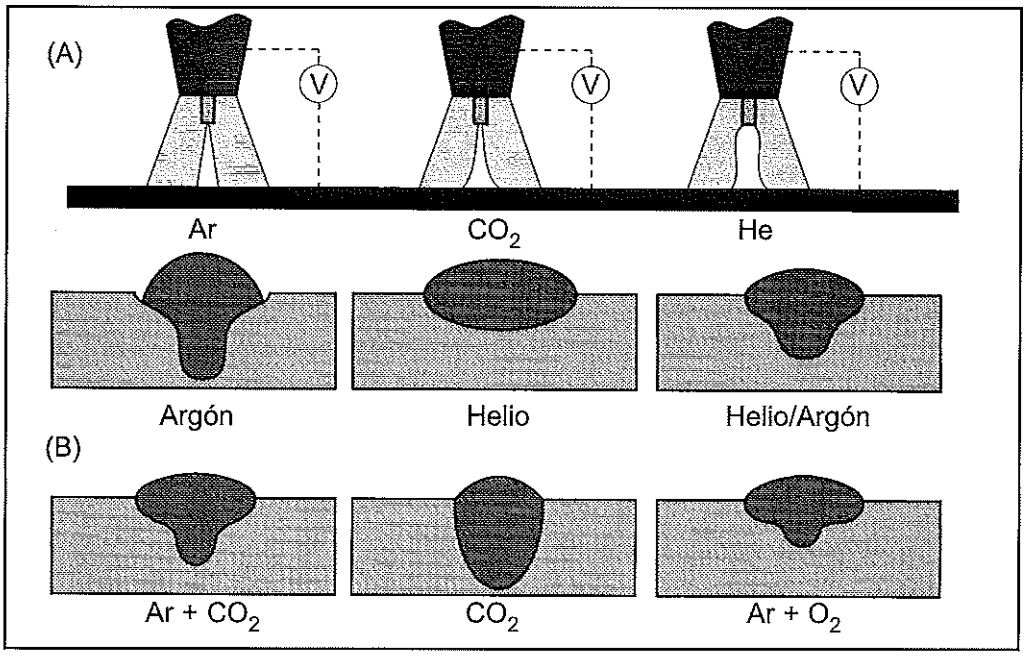


FIGURA 11.2 (A): FORMA DE LA COLUMNA DE PLASMA EN FUNCIÓN DEL GAS DE PROTECCIÓN (SOLDEO MIG O MAG); (B): FORMA DEL CORDÓN EN FUNCIÓN DEL GAS DE PROTECCIÓN (SOLDEO MIG O MAG)

11.2.5. Dióxido de carbono, CO_2

Es el único gas activo que puede utilizarse como protección, aunque únicamente se utiliza en el soldeo MAG o en el soldeo FCAW (tanto puro como mezclado).

Las **ventajas** más importantes del CO_2. son:

- Bajo coste
- Gran penetración
- Alta velocidad de soldeo

Los **inconvenientes** son:

- Se producen gran cantidad de salpicaduras.
- No se puede conseguir transferencia "spray", únicamente se puede conseguir transferencia globular o en cortocircuito.
- La superficie de los cordones queda ligeramente oxidada.

Normalmente se utiliza mezclado con argón para disminuir los inconvenientes del CO_2.

En la figura 11.2 (A) se representan las formas de las columnas de plasma obtenidas en función del gas de protección en soldeo MIG ó MAG y la figura 11.2(B) representa la forma de los cordones que se pueden obtener con diferentes gases en el soldeo MIG o MAG, para observar esta figura se debe tener en cuenta que no es una indicación de la penetración sino solo de la forma del cordón.

11.2.6. Efecto de las adiciones de determinados gases al gas de protección

Adiciones de Oxígeno

Solamente se utiliza como aditivo del argón en el soldeo MAG y FCAW.

La adición de pequeñas cantidades de oxígeno:

- Estabiliza el arco.
- Permite conseguir transferencia en "spray" con intensidades más bajas.
- Aumenta la cantidad de gotas de metal de aportación formadas.
- Mejora el aspecto del cordón.
- Consigue un baño de fusión más fluido.

Sin embargo, nunca se podrá utilizar en grandes cantidades (normalmente nunca superiores al 8%) porque se produciría la oxidación del metal fundido.

Adiciones de hidrógeno

Normalmente solo se utiliza como aditivo del argón (hasta el 5% de hidrógeno), para el soldeo TIG o plasma.

Se obtienen las siguientes ventajas:

- Aumenta el aporte térmico.
- Permite aumentar la velocidad de desplazamiento.
- Aumenta la anchura y penetración del cordón de soldadura.

Nunca se debe utilizar para el soldeo de aceros al carbono, de baja aleación, ni para aceros inoxidables ferríticos, ya que en estos materiales el hidrógeno puede producir fisuración.

Adiciones de nitrógeno

A veces se añade nitrógeno al argón en el soldeo por plasma, soldeo TIG y en el soldeo MAG. Sin embargo no es una adición muy común. Suele utilizarse casi exclusivamente en el soldeo del cobre y sus aleaciones.

Las ventajas de su adición son:

- Bajo coste.
- Aumenta la penetración y anchura del cordón.
- Aumenta el aporte térmico.

En la tabla 11.1 se resume lo anterior indicando el proceso y material al que se aplica cada gas.

11.3. Gas de Respaldo

El gas de respaldo es suministrado por la raíz de la soldadura para protegerla durante el soldeo. Esto es necesario en algunos materiales como el acero inoxidable y en la mayoría de los materiales no férreos. También suele ser necesario cuando se utilizan insertos consumibles. Sin embargo, no es preciso para el soldeo de aceros al carbono ni para la mayoría de los aceros de baja aleación.

Los gases más utilizados como respaldo están indicados en la tabla 11.1.

Para suministrar el gas de respaldo en el soldeo de chapas se utilizan dispositivos como el de la figura 11.3.

Gas de protección	Proceso	Material
Argón (Ar)	TIG	Todos los materiales
Helio (He) Argón + Helio	MIG	Todos los materiales no férreos y aceros inoxidables
Ar + O_2 (Ar+CO_2)	MAG	Aceros altamente aleados
Ar + CO_2 Ar + CO_2 + Oxígeno CO_2		Aceros no aleados y de baja y media aleación
Ar + CO_2 + Oxígeno CO_2 Ar + Oxígeno	FCAW	Aceros al carbono, de baja aleación y aceros inoxidables
Ar + He Argón	Protección de raíz	Metales afines con el oxígeno, titanio
Nitrógeno + Hidrógeno Nitrógeno Argón + Nitrógeno Argón + Hidrógeno		Otros metales

TABLA 11.1

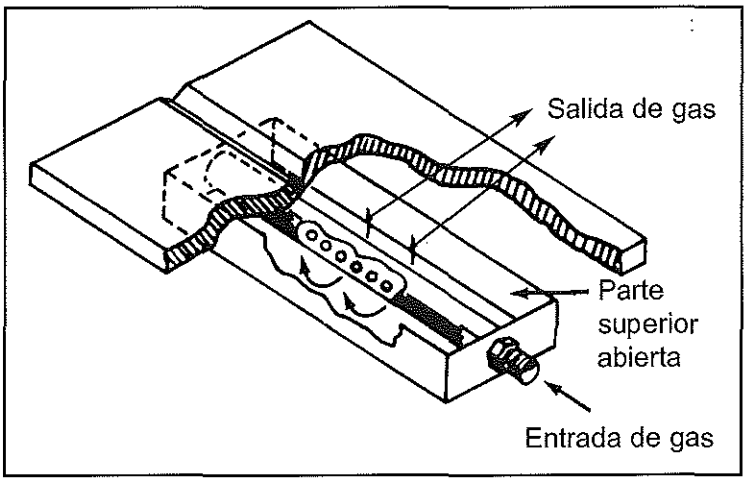


FIGURA 11.3: ZAPATA PARA GAS DE RESPALDO

En el soldeo de tuberías se deben emplear cartones rígidos, discos de madera, discos de papel soluble, tapones u obturadores expandibles o tapones inflables para procurar la máxima estanqueidad posible, de forma que se asegure una atmósfera protectora sin malgastar el gas de respaldo (Ver figura 11.4). En cualquier caso se debe prever una entrada y una salida de gas para evitar que aumente la presión interior. Si se utilizan como gas de respaldo argón o nitrógeno, o mezclas ricas en éstos, la entrada deberá situarse en un nivel inferior a la salida ya que estos gases son más densos que el aire, de esta forma se evita que el gas de respaldo salga sin arrastrar el aire existente. La disposición se invertirá en el caso de utilizar gases más ligeros que el aire (helio o hidrógeno). El orificio de salida debe ser mayor o igual al de entrada para evitar un aumento de la presión interior.

Si no se utilizan insertos consumibles se deberá adaptar a la cara externa de la unión una cinta adhesiva no transpirable, que se va retirando a medida que avance el depósito de la primera pasada.

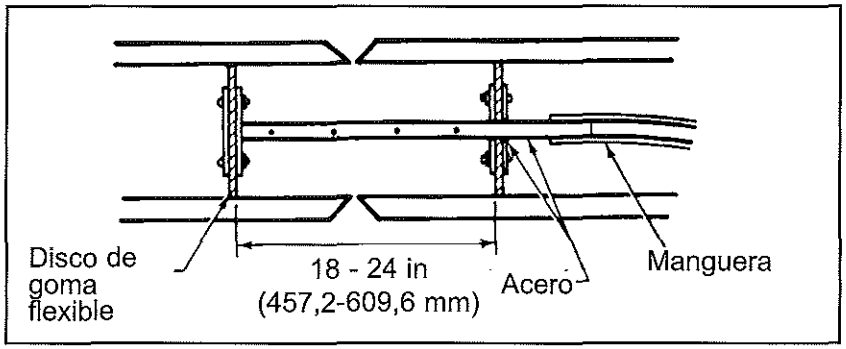


FIGURA 11.4: DISPOSITIVO PARA GAS DE RESPALDO

Purgado previo al soldeo

Antes de empezar a soldar se debe purgar la tubería o la raíz de la unión, retirando todo el aire que esté rodeando a la raíz de la soldadura.

Antes de realizar el purgado se taparán todas las uniones que van a soldarse empleando, por ejemplo cinta adhesiva. Todas las ramificaciones de la tubería también deben cerrarse lo más cerca posible de la zona de soldeo para disminuir la cantidad de gas utilizado.

Generalmente, para el purgado se utilizan caudales de gas de 10-25 l/min. con una duración que depende del diámetro de tubería y su longitud.

Para determinar la duración del purgado se dividirá el volumen de la tubería a proteger entre el caudal de gas.

Por ejemplo:

- Para purgar una tubería de 450 mm de diámetro y 6 m de longitud con un caudal de gas de 25 l/min se necesitan 38 minutos. Para realizar el cálculo se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de purgado (min)} = \frac{\text{Diámetro (mm)} \cdot \text{Diámetro (mm)} \cdot 3{,}14 \cdot \text{Longitud (m)}}{\text{Caudal (l/min)} \cdot 4000}$$

$$\text{Tiempo de purgado (min)} = \frac{450 \cdot 450 \cdot 3{,}14 \cdot 6}{25 \cdot 4000} = 38 \text{ min}$$

- Para una tubería de 150 mm de diámetro y 300 mm de longitud el tiempo de purgado con un caudal de 15 l/min.

$$\text{Tiempo de purgado} = \frac{150 \cdot 150 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}3}{15 \cdot 4000} = 0{,}35 \text{ min} = 21 \text{ segundos}$$

Se deberá realizar el purgado de 4 a 6 veces.

Una vez realizado el purgado se diminuye el caudal de gas hasta un nivel adecuado que podrá ser de 4-6 l/min cuando la unión está bien cerrada, por ej. cuando se emplean insertos consumibles, o de 7-9 l/min en los demás casos.

No se recomienda cortar el suministro de gas de respaldo hasta que se hayan depositado al menos 2 cordones además del de raíz.

11.4. Mezcladores de Gas

Los gases pueden obtenerse mezclados o puede mezclarlos directamente el usuario, para lo cual deberá utilizar mezcladores adecuados. Por razones de seguridad se recomienda obtener Ar + hidrógeno ya mezclado.

Un mezclador es un equipo capaz de mezclar en las cantidades deseadas dos ó más gases, por ejemplo CO_2 y argón o argón y oxígeno. Se suministra al mezclador los gases puros y se selecciona la proporción de los gases y el caudal de la mezcla.

Para conseguir mezclas de gases a partir de gases licuados se tiene que convertir el líquido en gas antes de la mezcla.

11.5. Identificación de las Botellas con los Gases más Utilizados en el Soldeo y Corte

Gas	Color	
	Cuerpo	Ojiva
Oxígeno	Negro	Blanca
Aire	Negro	Blanca y Negra
Acetileno	Rojo	Marrón
Hidrógeno	Rojo	Roja
Nitrógeno	Negro	Negra
Anhídrido Carbónico (CO_2)	Negro	Gris
Metano	Rojo	Gris
Argón	Negro	Amarilla
Helio	Negro	Marrón

11.6. Designación de los Gases para Soldeo y Corte por Arco Eléctrico

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14175 los gases y mezclas de gases se designan de la siguiente forma:

En primer lugar se indica el número de esta norma, seguido por el símbolo del gas establecido en la siguiente tabla 11.2. A continuación se indica el símbolo químico del gas base seguido por los símbolos de los otros componentes en orden decreciente de porcentaje, seguido por los valores de la composición nominal en tanto por ciento en volumen.

Los códigos de letras y números utilizados para los grupos principales son:

- I: gases inertes y mezcla de gases inertes.
- M1, M2 y M3: mezclas oxidantes que contienen oxígeno y/o dióxido de carbono.
- C: gas altamente oxidante y mezclas altamente oxidantes.
- R: mezclas de gases reductores.
- N: gas de baja reactividad o mezclas de gases reductores conteniendo hidrógeno.
- O: oxígeno.

- Z: mezclas de gases conteniendo componentes no listados o mezclas fuera de la gama de composición listada en la tabla 11.2.

Símbolo		Componentes en tanto por ciento nominal en volumen					
Grupo principal	Sub-grupo	Oxidante		Inerte		Reductor	Baja reactividad
		CO_2	O_2	Ar	He	H_2	N_2
I	1			100			
	2				100		
	3			resto	$0,5 \leq He \leq 95$		
M1	1	$0,5 \leq CO_2 \leq 5$		resto[a]		$0,5 \leq H_2 \leq 5$	
	2	$0,5 \leq CO_2 \leq 5$		resto[a]			
	3		$0,5 \leq O_2 \leq 3$	resto[a]			
	4	$0,5 \leq CO_2 \leq 5$	$0,5 \leq O_2 \leq 3$	resto[a]			
M2	0	$5 < CO_2 < 15$		resto[a]			
	1	$15 \leq CO_2 \leq 25$		resto[a]			
	2		$3 < O_2 \leq 10$	resto[a]			
	3	$0,5 \leq CO_2 \leq 5$	$3 < O_2 \leq 10$	resto[a]			
	4	$5 < CO_2 \leq 15$	$0,5 \leq O_2 \leq 3$	resto[a]			
	5	$5 < CO_2 \leq 15$	$3 < O_2 \leq 10$	resto[a]			
	6	$15 < CO_2 \leq 25$	$0,5 \leq O_2 \leq 3$	resto[a]			
	7	$15 < CO_2 \leq 25$	$3 < O_2 \leq 10$	resto[a]			
M3	1	$25 < CO_2 \leq 50$		resto[a]			
	2		$10 < O_2 \leq 15$	resto[a]			
	3	$25 < CO_2 \leq 50$	$2 < O_2 \leq 10$	resto[a]			
	4	$5 < CO_2 \leq 25$	$10 < O_2 \leq 15$	resto[a]			
	5	$25 < CO_2 \leq 50$	$10 < O_2 \leq 15$	resto[a]			
C	1	100					
	2	resto	$0,5 < O_2 < 30$				
R	1			resto[a]		$0,5 \leq H_2 \leq 15$	
	2			resto[a]		$15 \leq H_2 \leq 50$	
N	1						100
	2			resto[a]			$0,5 \leq N_2 \leq 5$
	3			resto[a]			$5 < N_2 \leq 50$
	4			resto[a]		$0,5 \leq H_2 \leq 10$	$0,5 \leq N_2 \leq 5$
	5					$0,5 \leq H_2 \leq 50$	resto
O	1		100				
Z	Mezclas de gases conteniendo componentes no listados o mezclas fuera de los rangos de composición listados.[b]						

[a] Para el fin de esta clasificación, el argón puede sustituirse parcial o completamente por helio.
[b] Dos mezclas de gases con la misma clasificación Z pueden no ser intercambiables.

TABLA 11.2: CLASIFICACIÓN DE GASES ELABORADOS PARA SOLDEO POR FUSIÓN Y TÉCNICAS AFINES DE ACUERDO CON UNE-EN ISO 14175

Ejemplos de designación:

Ejemplo 1: Para una mezcla de gas conteniendo 6% de dióxido de carbono, 4% de oxígeno en argón:

Clasificación: ISO 14175 - M25

Designación: ISO 14175 - M25 - ArCO - 6/4

Ejemplo 2: Para una mezcla de gas conteniendo 30% de helio en argón:

Clasificación: ISO 14175 - I3

Designación: ISO 14175 - I3 - ArHe - 30

Ejemplo 3: Para una mezcla de gas conteniendo 5% de hidrógeno en argón:

Clasificación: ISO 14175 - R1

Designación: ISO 14175 - R1 - ArH - 5

Ejemplo 4: Para una mezcla de gas conteniendo 0,05% de oxígeno en argón:

Clasificación: ISO 14175 - Z

Designación: ISO 14175 - Z - ArO - 0,05

Ejemplo 5: Para una mezcla de gas conteniendo 0,05% de xenón, símbolo químico del xenón Xe, en argón:

Clasificación: ISO 14175 - Z

Designación: ISO 14175 - Z - Ar + Xe - 0,05

Capítulo 12 Soldeo TIG

INDICE

12.1. Principios del proceso TIG 245

12.1.1. Descripción y denominaciones 245

12.1.2. Ventajas y limitaciones 246

12.1.3. Aplicaciones 247

12.2. Selección del tipo de corriente 247

12.2.1. Arco con corriente continua 247

12.2.2. Arco con corriente alterna 247

12.3. Equipo de soldeo 249

12.3.1. Fuente de energía 250

12.3.2. Funciones 254

12.3.3. Portaelectrodo 258

12.4. Electrodos no consumibles 259

12.4.1. Simbolización 260

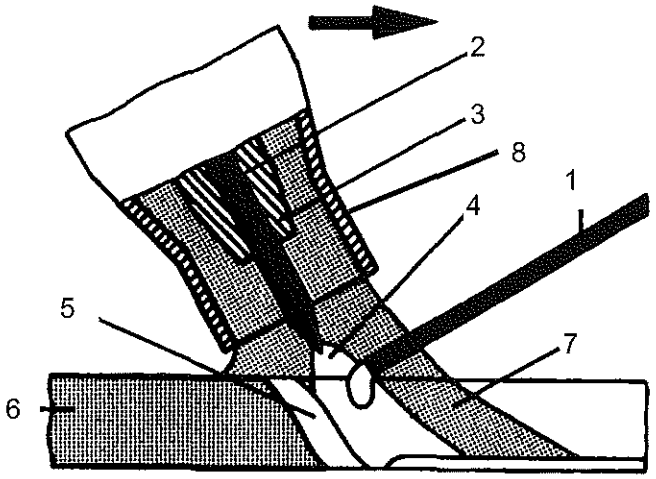
12.4.2. Tipos 261

12.4.3. Acabado del extremo 263
12.4.4. Contaminación del electrodo 265
12.4.5. Intensidades admisibles 266
12.5. Metales de aportación 267
12.5.1. Varillas 267
12.5.2. Insertos consumibles 268
12.6. Gases de protección 270
12.7. Técnicas operativas 271
12.7.1. Preparación de la unión 271
12.7.2. Cebado del arco 272
12.7.3. Técnica de soldeo manual 273
12.8. Técnicas especiales 275
12.8.1. Arco pulsado 275
12.8.2. Soldeo con alambre caliente 277
12.8.3. Soldeo orbital 277
12.9. Defectos típicos en las soldaduras 279
12.10. Fallos en el equipo de soldeo 286

12.1. Principios del Proceso TIG

12.1.1. Descripción y denominaciones

El procedimiento de soldeo por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas como en el soldeo oxiacetilénico. La figura 12.1 muestra esquemáticamente los principios del proceso TIG.



1.- Varilla de aportación. Metal de aportación
2.- Electrodo no consumible
3.- Boquilla de contacto
4.- Arco eléctrico
5.- Metal de soldadura fundido
6.- Pieza a soldar. Metal base
7.- Protección gaseosa
8.- Tobera

FIGURA 12.1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TIG

Hay que recordar que wolframio (o volframio) y tungsteno son dos denominaciones para el mismo metal cuyo símbolo en la tabla periódica es W.

El proceso de soldeo TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (ANSI/AWS A3.0).
- 141, Soldeo por arco con electrodo de volframio y gas inerte (UNE-EN ISO 4063).
- Gas–Shielded Tungsten–Arc Welding (Reino Unido).

12.1.2. Ventajas y limitaciones

Ventajas

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- Arco estable y concentrado.
- Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.
- No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- No se produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3–4 mm.
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- No requiere el empleo de fuente de energía excesivamente caras.
- Pemite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

Limitaciones del proceso TIG:

- La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco (en el soldeo automático esta desventaja se puede solucionar con la técnica de alambre caliente).
- Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
- No resulta económico para espesores mayores de 10 mm.
- En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.

12.1.3. Aplicaciones

El proceso TIG se puede utilizar para el soldeo de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y sus aleaciones.

Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial, es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial.

Como su tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6-8 mm. En estos casos el TIG se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.

También se puede utilizar para realizar soldaduras por puntos y por costuras.

12.2. Selección del Tipo de Corriente

El proceso TIG puede utilizarse tanto con corriente continua como con corriente alterna. La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar. Con el fin de realizar esta elección correctamente, se va a destacar algunos aspectos diferenciales de ambas alternativas.

En la tabla 12.1 se han resumido los efectos de la polaridad cuando se suelda con corriente continua y los efectos del soldeo con corriente alterna.

12.2.1. Arco con corriente continua

La polaridad recomendada en corriente continua es la directa, ya que si se suelda con polaridad inversa se tienen que utilizar intensidades tan bajas para que no se sobrecaliente el electrodo que resulta impracticable el soldar.

12.2.2. Arco con corriente alterna

La corriente alterna auna, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades (Ver tabla 12.1): el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio.

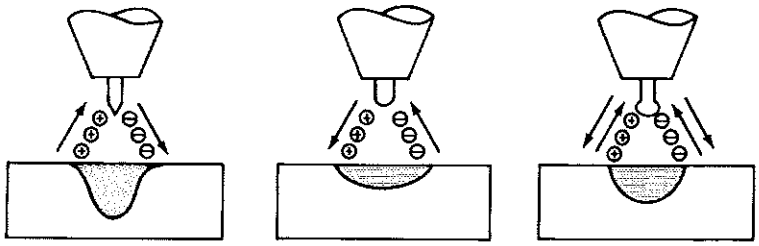
Tipo de corriente	Corriente continua	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad	Directa	Inversa	
Flujo de electrones e iones Aspecto de la penetración			
Acción decapantes	No	Sí	Sí. Una vez durante el semiciclo positivo
Balance calórico (aproximado)	70% en la pieza 30% en la punta del electrodo	30% en la pieza 70% en la punta del electrodo	50% en la pieza 50% en la punta del electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Comporta-miento del electrodo	Excelente Ej. 400 A; 3,2 mm	Pobre Ej. 120 A; 6 mm	Buena Ej. 225 A; 3,2 mm

TABLA 12.1: CARACTERÍSTICAS DEL SOLDEO DE ACUERDO CON LA CORRIENTE SELECCIONADA

Como principales inconvenientes presenta dificultades de cebado y de estabilidad del arco, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

Con corriente alterna, el arco se apaga cada vez que el voltaje es nulo, dos veces cada ciclo [Ver figura 12.2 (a)]. Para mejorar la estabilidad la tensión de vacío debe incrementarse. Como ejemplo se requiere una tensión de vacío de 100V con helio como protección. La tensión necesaria puede obtenerse añadiendo al transformador una fuente de alta frecuencia. El voltaje de la fuente de alta frecuencia puede ser del orden de 1000V y con una frecuencia del orden de MHz [Ver figura 12.2 (b)]. La corriente de alta frecuencia puede ser aplicada continuamente, o cada vez que la corriente de soldeo pasa por cero. La selección se realiza desde el panel de control del equipo.

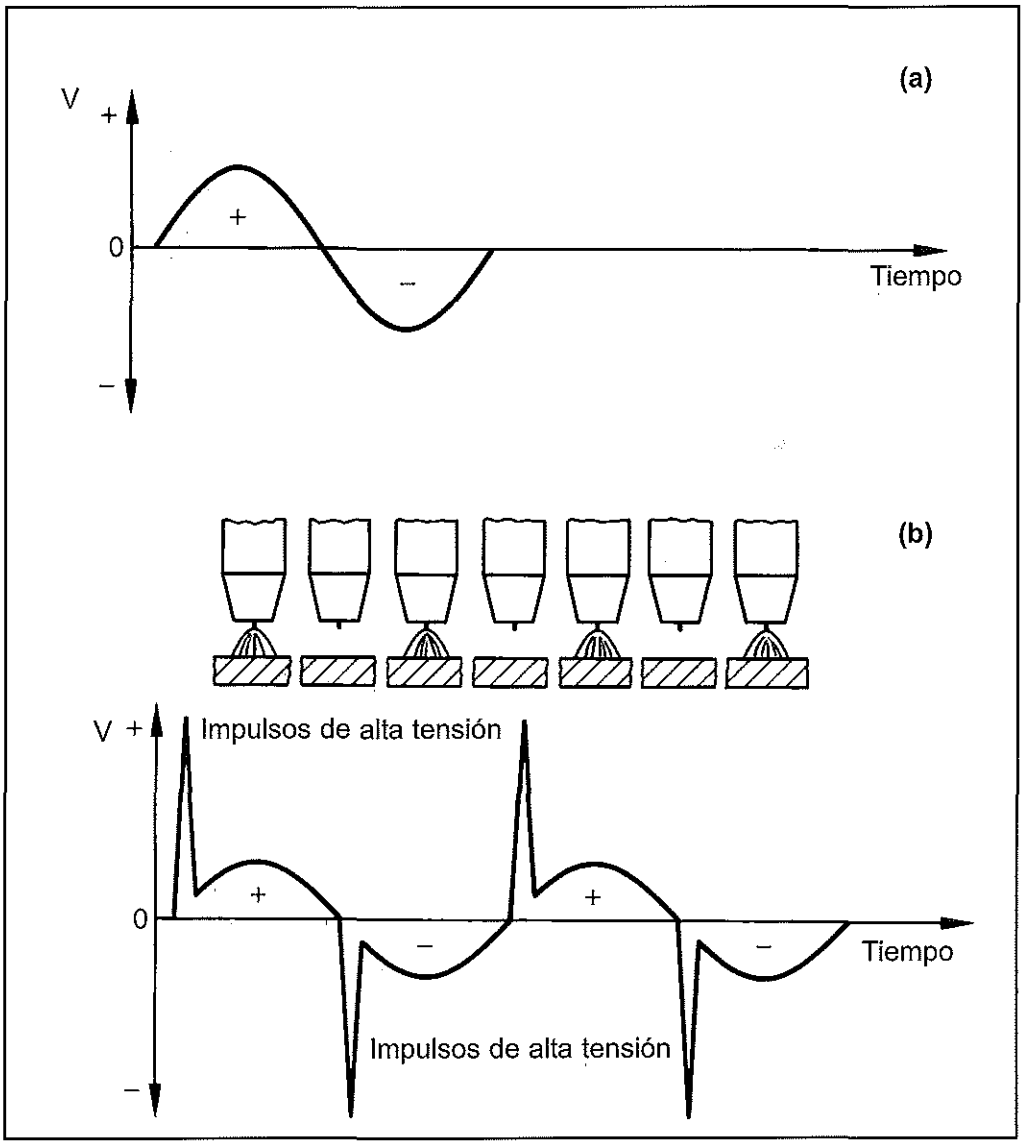


FIGURA 12.2: (A) CORRIENTE ALTERNA; (B) CORRIENTE ALTERNA CON IMPULSOS DE ALTA FRECUENCIA

12.3. Equipo de Soldeo

El equipo básico para el soldeo TIG consiste en una fuente de energía o de alimentación, un portaelectrodos, electrodo, cables de soldeo, botellas de gas inerte y mangueras para la conducción del gas. (Ver figura 12.3)

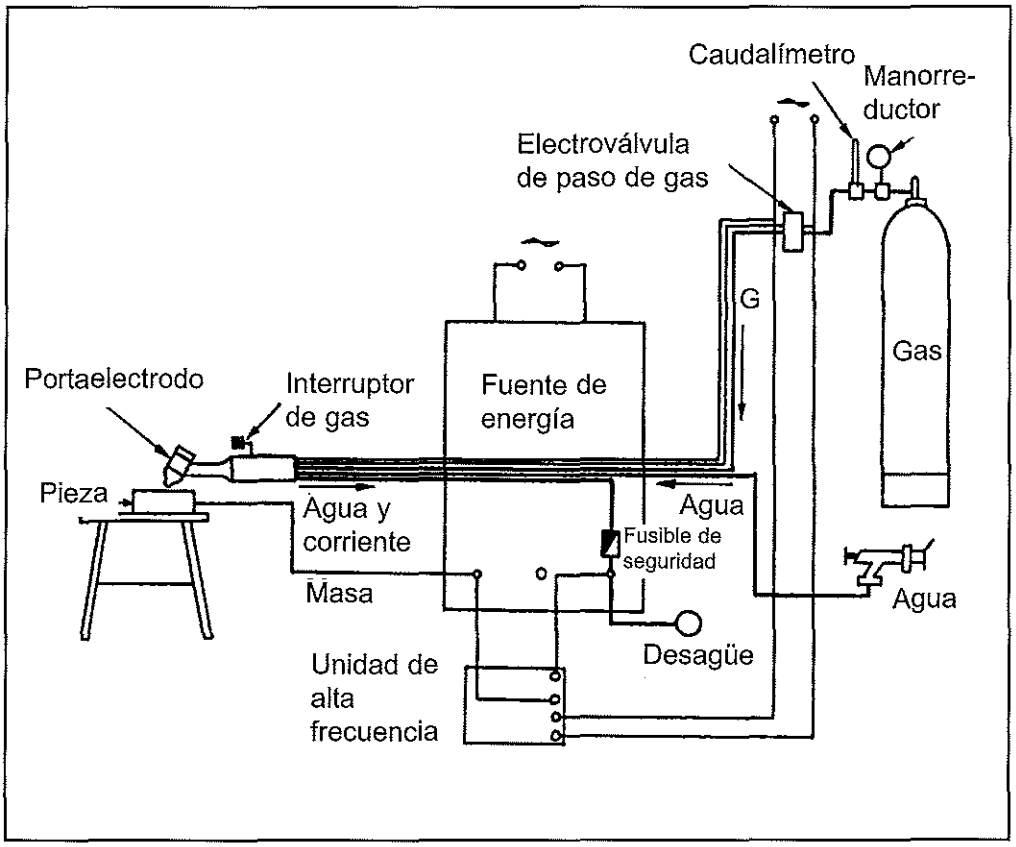


FIGURA 12.3: INSTALACIÓN DE SOLDEO TIG, CON PORTAELECTRODOS REFRIGERADO CON AGUA Y CON UNIDAD DE ALTA FRECUENCIA

12.3.1. Fuente de energía

La fuente de energía para el soldeo TIG debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

La fuente de energía debe tener un rango de variación continua de intensidad y una intensidad mínima baja (5–8 A). Lo último es importante para la función "disminución progresiva de intensidad o control de pendiente". Además la fuente de energía debe ser capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar. Se da a continuación una indicación de las **intensidades requeridas por milímetro de espesor de chapa** para diferentes materiales.

Acero baja aleación	30–40 A
Aluminio	45–50 A
Cobre	75–80 A
Acero inoxidable	30–40 A

Tipos de fuente en corriente alterna

- Transformadores con un control adicional para la unidad de alta frecuencia y la unidad de control de gas.
- Equipo de soldeo TIG con capacidad para corriente alterna y corriente continua.

Se emplea corriente alterna para favorecer el decapado de la capa de óxido en aleaciones de aluminio y magnesio, también se utiliza para el soldeo de materiales de bajo espesor.

Las fuentes de corriente alterna convencionales utilizan una onda sinusoidal (ver figura 12.2) simplemente transformando la onda de la red para adecuar los parámetros de intensidad y tensión. El arco con corriente alterna es inestable, por lo que se utilizan diferentes medios para estabilizar el arco durante el soldeo como son: generador de impulsos de alta frecuencia, filtros capacitivos o empleo de fuentes de onda cuadrada.

Las fuentes de **onda cuadrada** pueden cambiar el sentido de la corriente de soldeo en muy poco tiempo, permitiendo una óptima activación de la semionda positiva y de la negativa consiguiéndose gran estabilidad. Algunas fuentes de onda cuadrada poseen un control de balance de la onda, estas fuentes ajustan el nivel de intensidad que se alcanza en la semionda positiva y en la negativa. Otras fuentes de onda cuadrada ajustan también el tiempo de cada semionda. Las características de la onda cuadrada con control de balance se muestran en la figura 12.4. Son muy utilizadas en el soldeo del aluminio y sus aleaciones.

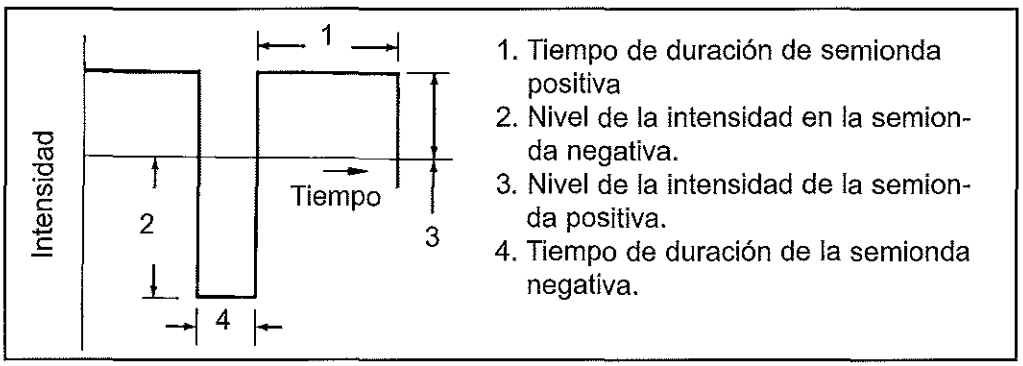
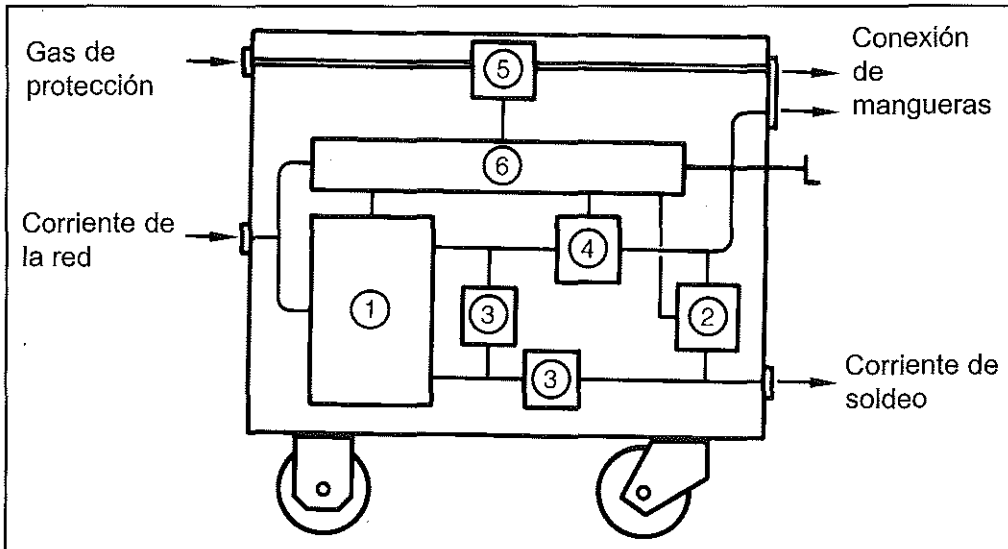


FIGURA 12.4: CARACTERÍSTICAS DE LA ONDA CUADRADA PARA CORRIENTE ALTERNA

En la figura 12.5 (A) se pueden ver todos los componentes de una máquina de corriente alterna.



1. Transformador.
Función: Convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo: disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

2. Generador de impulsos de alta frecuencia.
Función: Genera impulsos de alta frecuencia y elevada intensidad para cebar el arco.

3. Protector.
Protección del transformador contra los impulsos de alta tensión que podrían destruirle.

4. Filtro capacitivo
Función: Compensación de la diferencia entre las dos mitades de cada onda que pueden provocarse durante el soldeo. (Efecto rectificador).

5. Válvula magnética del gas de soldeo.
Función: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.

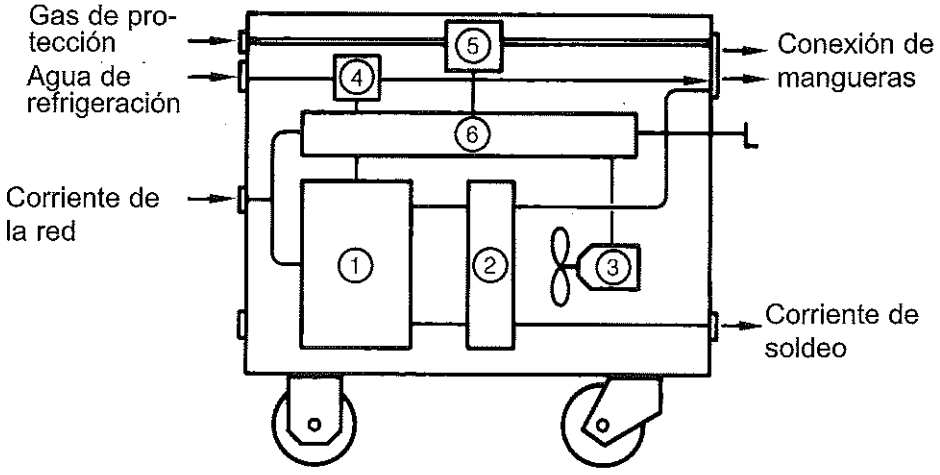
6. Módulo de control.
Funciones:
Encendido y apagado de la corriente de soldeo.
Regulación de la corriente de soldeo.
Control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo.
Ajuste del filtro capacitivo
Control de otras funciones.

FIGURA 12.5 (A): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE ALTERNA

Tipos de fuente de energía para soldeo con corriente continua

- Equipos ordinarios para trabajar con electrodos revestidos en corriente continua, equipados con portaelectrodos TIG. Esta es la solución más simple pero tiene sus limitaciones, especialmente al comenzar y terminar la soldadura.
- El mismo que el anterior pero equipado con un control de gas y otras funciones necesarias.
- Rectificador especialmente preparado para el soldeo TIG. La máquina posee una unidad de control de gas, una unidad de alta frecuencia y otras funciones necesarias.

En la figura 12.5 (B) se pueden ver todos los componentes de una máquina de corriente continua.



1. Transformador.
Función: Convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo: disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

2. Rectificador.
Función: Convertir la corriente alterna en corriente continua.

3. Ventilador.
Función: Enfriar el transformador y rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento.

4. Controlador del agua de refrigeración.
Función: Control de la presión del agua de refrigeración.

FIGURA 12.5 (B): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE CONTINUA

5. Válvula magnética del gas de soldeo.
Función: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.

6. Módulo de control.
Funciones:
Encendido y apagado de la corriente de soldeo.
Regulación de la corriente de soldeo.
Control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo.
Apagado de la corriente de soldeo en caso de falta de agua.
Control de otras funciones.

FIGURA 12.5 (B) (CONTINUACIÓN): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE CONTINUA

12.3.2. Funciones

Función de control de pendiente (electroslope)

Algunos equipos poseen integrada una función de control de pendiente. Durante la pendiente positiva la corriente se incrementa paulatinamente en el momento de arranque. Esto da al soldador más tiempo para colocar el electrodo en la posición de soldeo. También reduce el riesgo de fusión del electrodo.

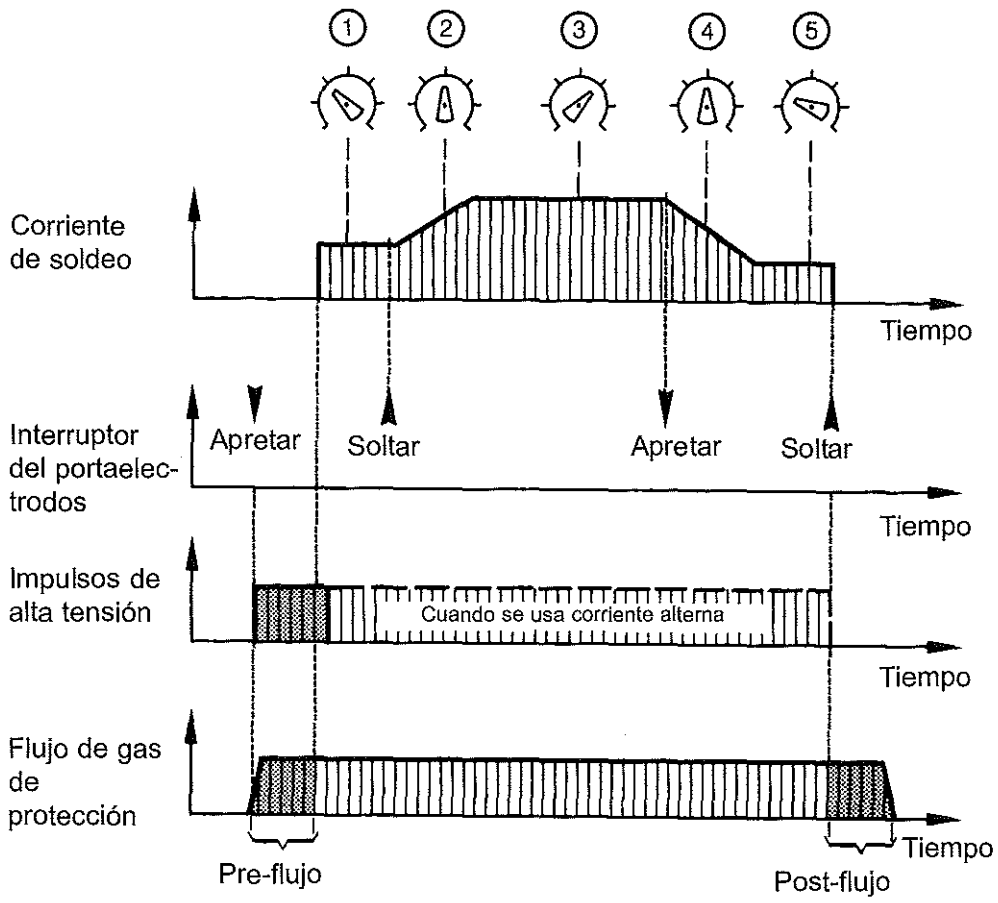
La función de pendiente negativa, conocida también como función de llenado del rechupe, permite una reducción gradual de la corriente al final de la soldadura. Esto evita la formación de defectos de soldeo causados por la aparición de rechupes que se podrían formar al final de la soldadura.

Si la máquina de soldeo tiene la función de control de pendiente tendrá 4 mandos de selección, que están indicados en la figura 12.6 con los números 1, 2, 4 y 5, ya que el 3 de intensidad de soldeo suele estar separado.

Temporización de post–flujo (postflow time) y pre–flujo (preflow time) de gas de protección

Con objeto de mejorar la protección al inicio y final de la soldadura, se puede seleccionar el tiempo de salida de gas de protección antes de cebar el arco (preflow time), con esto se retira el aire que rodea el material base en la zona de cebado y se crea una atmósfera formada únicamente por gas de protección.

Más importante es la regulación del tiempo de salida de gas de protección después de la extinción del arco (postflow time); con ello se asegura que el material recién depositado esté perfectamente protegido hasta que se enfríe lo suficiente. También se evita la contaminación del electrodo de volframio por oxidación de éste.



1. Intensidad del cebado
2. Pendiente positiva. Velocidad de aumento de la corriente hasta llegar a la intensidad de soldeo.
3. Intensidad de soldeo.
4. Pendiente negativa. Velocidad de la disminución de la corriente hasta llegar a la intensidad de extinción de arco.
5. Corriente de soldeo disminuida. Intensidad de extinción de arco.

FIGURA 12.6: EQUIPO DE SOLDEO CON PROGRAMACIÓN DE LA CORRIENTE DE SOLDEO

Se ha representado este temporizador en la figura 12.6.

Si no existiera esta función será el soldador el que debe dejar salir el gas durante un cierto tiempo antes del inicio y después de la extinción del arco.

Impulsos de alta frecuencia (High frecuency)

Se utiliza para mejorar la estabilidad del arco en corriente alterna o para facilitar el cebado tanto en cc como en ca. Se ha explicado en el apartado 12.2 de "selección del tipo de corriente". Se puede seleccionar, desde el panel de control de la máquina, que actúe continuamente (continuous) o solamente cada vez que la corriente de soldeo pasa por cero (start).

Control del balance de onda (AC balance)

Se puede regular el tiempo de cada semionda cuando se utiliza corriente alterna con onda cuadrada, pudiendo elegirse si se desea que la semionda negativa dure más tiempo, consiguiendo mayor penetración (max penetration) o que la semionda positiva sea la más larga, consiguiéndose que el efecto de decapado o limpieza esté más acentuado (max cleaning). Esta función se utilizará, sobre todo, para el soldeo del aluminio y sus aleaciones.

Función pulsatoria

Si se quiere obtener un mayor control sobre el aporte de calor al metal base se puede utilizar TIG con arco pulsado, la explicación se puede ver en el apartado 12.8 "técnicas especiales".

Las pulsaciones son variaciones de corriente entre dos valores previamente fijados.

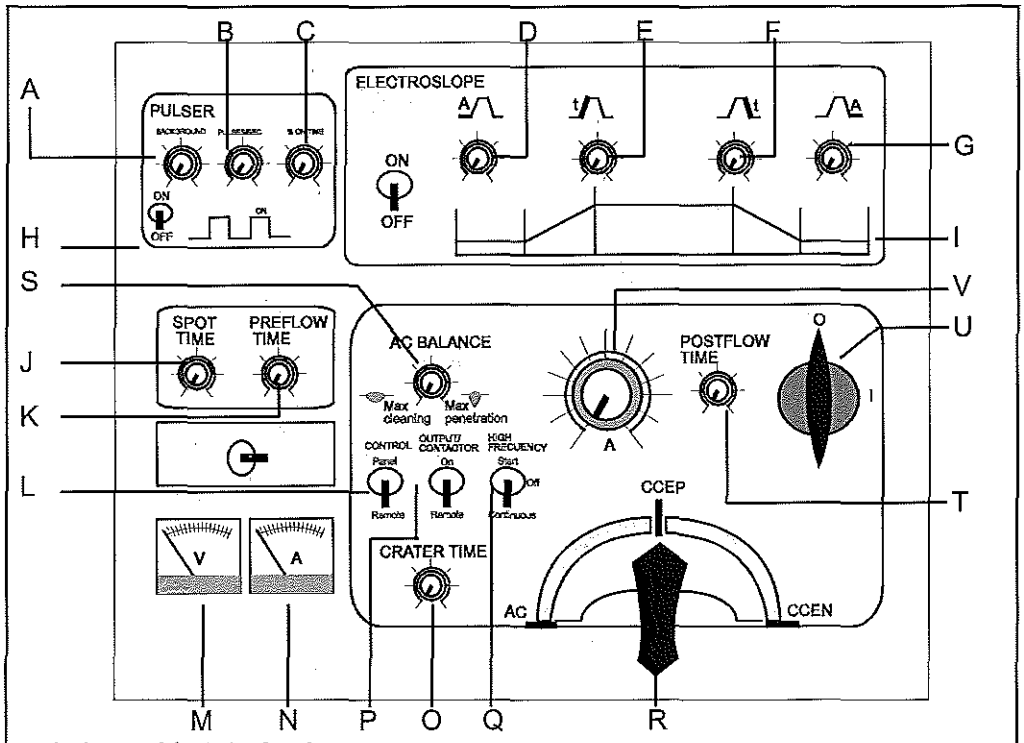
En el panel de control de la máquina se selecciona la corriente de fondo (background), el número de pulsos por segundo (pulses/sec) y el tiempo del pulso muchas veces en porcentaje respecto al ciclo de la onda (% on time).

La función pulsatoria puede estar integrada en la fuente de energía o generada desde una unidad independiente.

Control remoto

Se puede controlar la fuente de energía durante el soldeo con algún tipo de control remoto, por ejemplo activado con el pie. Este control remoto permite disminuir o aumentar gradualmente la intensidad de la corriente donde sea necesario, por ejemplo para el soldeo en posiciones múltiples (HL045).

En la figura 12.7 se representa un panel de control completo que puede encontrarse en una máquina de soldeo.



A: Intensidad de fondo
B: Nº de pulsos por segundo
C: Tiempo de pulso
D: Intensidad de cebado de arco
E: Tiempo de aumento de intensidad
F: Tiempo de disminución de la intensidad
G: Intensidad de extinción del arco
H: Corriente pulsada
I: Control de pendiente
J: Control de soldeo por puntos
K: Tiempo de preflujo
L: Control remoto
M: Voltímetro
N: Amperímetro
O: Tiempo de duración de la intensidad de extinción del arco
P: Control de encendido en la pistola (remoto) en la máquina
Q: Alta frecuencia
R: Selección tipo de corriente
S: Control de balance de la onda cuadrada
T: Tiempo de postflujo
U: Interruptor de encendido o apagado
V: Intensidad de encendido

FIGURA 12.7: PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA TIG

12.3.3. Portaelectrodo

La figura 12.8 muestra varias configuraciones de los portaelectrodos, también denominados "sopletes" en el proceso TIG.

Tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua, como se observa en la figura 12.3). Los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150–200 amperios. En estos casos la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo. A partir de 300 amperios en régimen discontinuo es necesario que también la boquilla esté refrigerada por agua.

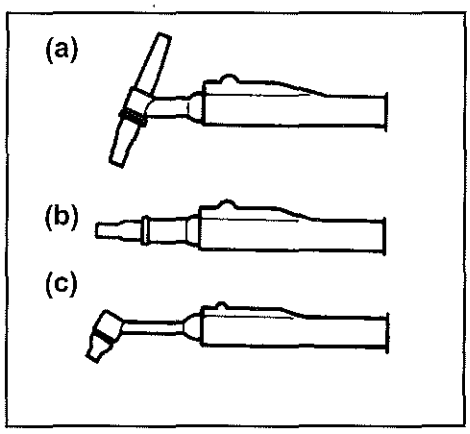


FIGURA 12.8: CONFIGURACIONES DEL PORTAELECTRODOS TIG. (A) NORMAL; (B) RECTA; (C) CORTA

El electrodo de volframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del portaelectrodos. Cada portaelectrodos dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros.

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del portaelectrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. A fin de acomodarse a distintas exigencias de consumo, cada portaelectrodos va equipado con un juego de toberas de diferentes diámetros.

Hay que tener en cuenta que el electrodo de volframio debe estar perfectamente centrado dentro de la tobera para que el chorro de gas inerte proteja bien el baño de

fusión y, también, en caso de tobera de cobre, no se produzca el arco doble, esto es, que el arco salte primero entre el electrodo y la tobera y después continúe entre ésta y el metal base.

En la figura 12.9 se da un esquema de un portaelectrodo seccionado.

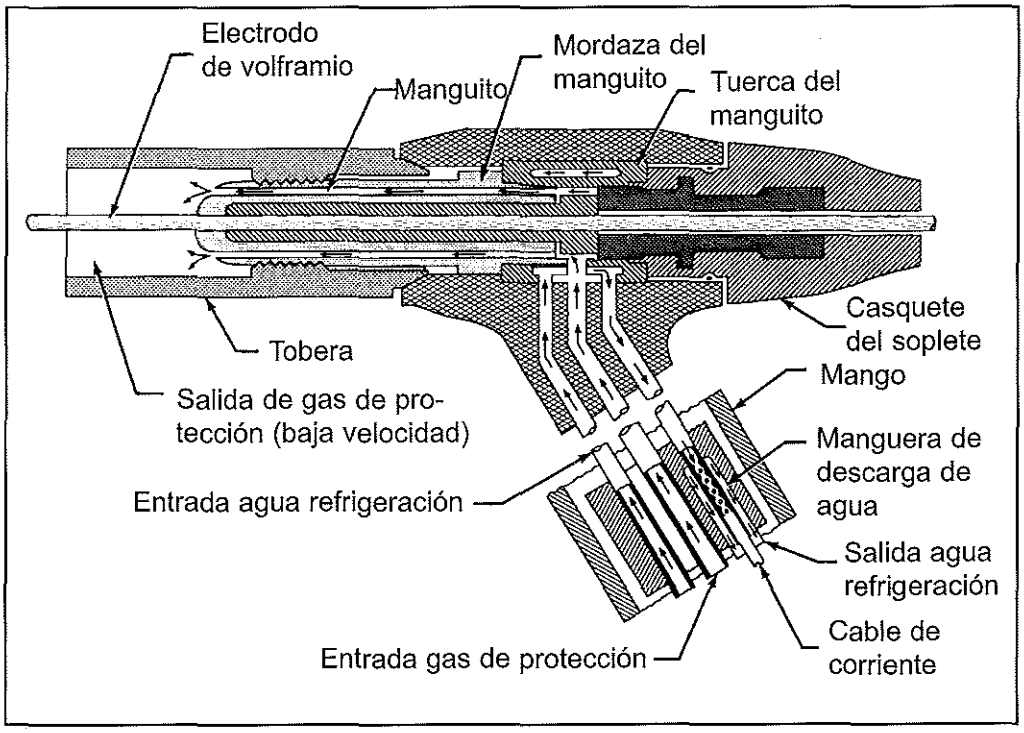


FIGURA 12.9: PORTAELECTRODO CON REFRIGERACIÓN POR AGUA PARA TIG

12.4. Electrodos No Consumibles

La misión del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste, es muy importante que posea una alta temperatura de fusión. Esta es la razón por la que, cuando se emplea c.c., el electrodo se suele conectar al polo negativo, pues el calor generado en el extremo es inferior y permanece más frío que si conectase al polo positivo.

En general, se emplean tres tipos diferentes de electrodos, que se clasifican en función de su composición en:

- Volframio puro.
- Volframio aleado con torio.
- Volframio aleado con circonio.

Al principio los electrodos fueron de volframio puro, pero posteriormente se pudo comprobar que al añadir a este metal óxidos de torio o de circonio aumenta la emisividad, incrementándose el flujo de electrones, favoreciéndose el encendido y reencendido del arco y, como consecuencia, su estabilidad.

Además, estos elementos permiten utilizar mayores intensidades de corriente, pues elevan el punto de utilización del electrodo. De esta forma se evita el fenómeno de desgaste del electrodo de volframio puro que, adicionalmente, contaminaría el baño de fusión.

Los diámetros disponibles son **1; 1,6**; 2; **2,4; 3,2**; 4; 4,8; 5 y 6,4 mm, siendo los más empleados los señalados en negrita. La longitud estándar de estos electrodos es de 150 mm.

12.4.1. Simbolización

La siguiente información ha sido obtenida de la Norma UNE-EN ISO 6848:2005 y de la Norma AWS-A5.12.

La simbolización de los electrodos de volframio se basa en su composición según las indicaciones que figuran en la tabla 12.2, la primera letra caracteriza el componente principal, volframio. La segunda representa las adiciones de óxido, la letra elegida es la inicial del elemento que forma el óxido adicionado, el número corresponde al contenido medio de óxido multiplicado por diez.

Los electrodos deben marcarse de acuerdo con la tabla, según su composición, con un anillo en el caso de los electrodos normales y con dos anillos en el caso de los electrodos compuestos, el color del anillo será el indicado en la tabla y se situarán en uno de los extremos del electrodo. El ancho de cada anillo será igual o superior a 3 mm.

Símbolo	Composición		Contenido de volframio mínimo	Color de identificación (2)	Equivalencia con la simbolización AWS (3)
	Óxido adicionado (1)				
	Naturaleza del óxido adicionado	%			
WP	--	--	99,5	verde	EWP
WCe 20	CeO_2	1,80 a 2,20	resto	gris	EWCe-2
WLa 10	La_2O_3	0,80 a 1,20	resto	negro	EWLa-1
WLa 15	La_2O_3	1,30 a 1,70	resto	dorado	EWLa-1
WLa 20	La_2O_3	1,80 a 2,20	resto	azul marino	EWLa-2
WTh 10	ThO_2	0,80 a 1,20	resto	amarillo	EWTh-1
WTh 20	ThO_2	1,70 a 2,20	resto	rojo	EWTh-2
WTh 30	ThO_2	2,80 a 3,20	resto	violeta	
WZr 3	ZrO_2	0,15 a 0,50	resto	marrón	EWZr-1
WZr 8	ZrO_2	0,70 a 0,90	resto	blanco	

(1) Los óxidos adicionados en general están finamente dispersos en la matriz de volframio, pero existen electrodos llamados compuestos que están formados por un alma de volframio puro con un revestimiento exterior de óxido. Estos electrodos aúnan las cualidades del volframio puro con las del volframio con adición de óxidos pero tiene el inconveniente de que no pueden tallarse los extremos cuando se precise.

(2) Los electrodos compuestos se identifican con un segundo anillo de color rosa.

(3) Se ha indicado la simbolización según AWS de los electrodos más usuales, el electrodo también está representado por una franja del mismo color y el porcentaje de óxido medio es el mismo.

TABLA 12.2: SIMBOLIZACIÓN DE ACUERDO CON UNE-EN ISO Y AWS DE LOS ELECTRODOS DE VOLFRAMIO

12.4.2. Tipos

Volframio puro

Compuesto de volframio puro, cuyo punto de fusión es de 3.400 °C aproximadamente.

Es necesario que el extremo de electrodo sea redondeado.

Se utiliza fundamentalmente con corriente alterna en el soldeo del aluminio y sus aleaciones, ya que con corriente alterna los electrodos de volframio puro mantienen la punta de electrodo en buenas condiciones y esto permite una buena estabilidad del arco. Pueden utilizarse con corriente continua pero los electrodos de volframio puro no tienen la facilidad de cebado ni la estabilidad de los electrodos con torio en corriente continua.

Volframio aleado con torio

El punto de fusión de esta aleación es de 4.000 °C aproximadamente.

Es necesario que el extremo del electrodo sea afilado.

Se utiliza en el soldeo con **corriente continua** (c.c.) de aceros al carbono, baja aleación, inoxidables, cobre, titanio, etc; no se suelen utilizar en corriente alterna porque es difícil mantener la punta del electrodo en la forma adecuada con este tipo de corriente.

El precio de estos electrodos resulta de un 10 a un 15% superior a los de volframio puro.

El contenido de torio conlleva a una mayor emisividad (incremento del flujo de electrones), mejor cebado, mayor resistencia a la contaminación y proporciona un arco más estable.

Electrodos de volframio con óxidos de cerio o de lantano se pueden utilizar en los mismos casos que los electrodos con torio, con la ventaja de que ni el cerio ni el lantano son radiactivos mientras que el torio si lo es.

Volframio aleado con circonio

El punto de fusión de esta aleación es de 3.800 °C aproximadamente.

Tiene unas características intermedias entre los electrodos de volframio puro y los de volframio con torio.

Se utilizan con **corriente alterna** (c.a.) y **corriente continua** (c.c.), pero son más usuales en corriente alterna ya que combinan las características de estabilidad del arco y punta adecuada típicas de los electrodos de volframio puro, con la facilidad de cebado y la permisibilidad de mayores intensidades de los electrodos aleados con torio. Se utiliza en el soldeo de materiales ligeros como aluminio y magnesio.

12.4.3. Acabado del extremo

La forma del extremo del electrodo es muy importante pues, si no es la correcta, existe el riesgo de que el arco eléctrico sea inestable. En la figura 12.10 se muestra diferentes acabados del extremo del electrodo, indicándose las características peculiares de cada tipo.

En general, es preferible seleccionar un electrodo tan fino como sea posible, con objeto de concentrar el arco y obtener de este modo un baño de fusión reducido.

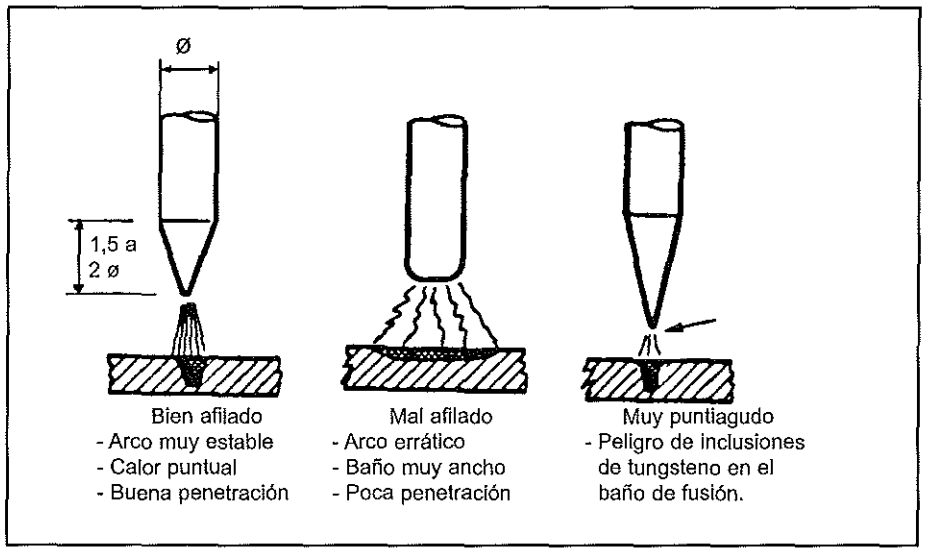


FIGURA 12.10: FORMAS DE ACABADOS DE LA PUNTA DEL ELECTRODO

En las figura 12.11 se muestran diferentes geometrías de la punta del electrodo:

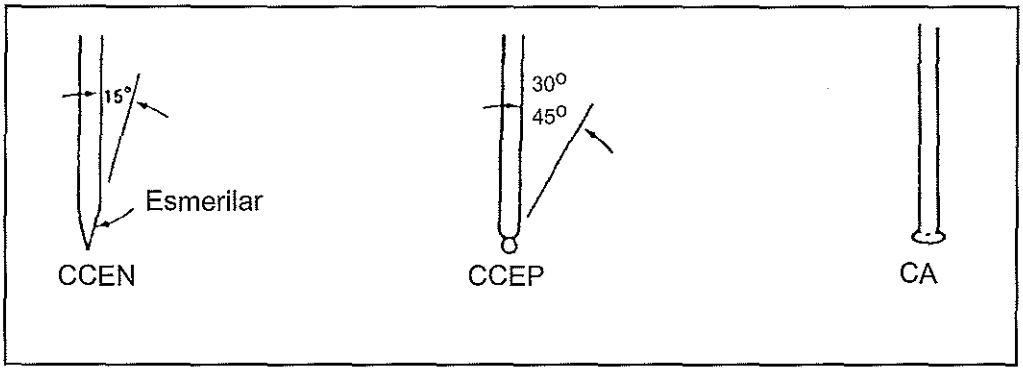


FIGURA 12.11: VARIACIONES DE LA GEOMETRÍA EN EL EXTREMO DE LOS ELECTRODOS

Los electrodos para soldeo con corriente continua deben tener punta. Es importante que el amolado se efectúe correctamente, éste debe hacerse en la dirección longitudinal del electrodo. Una longitud correcta de la punta del electrodo es dos veces el diámetro de éste. El extremo puntiagudo en exceso del electrodo debe ser eliminado con la piedra de amolar.

Cuando se utiliza el amolado para conseguir la geometría adecuada del electrodo, deberá realizarse con una rueda o cinta abrasiva de grano fino y que sólo se utilice para la preparación de electrodos de volframio, evitándose de esta forma su contaminación. El amolado se deberá realizar de forma que el electrodo quede como indica la figura 12.12 evitando la preparación tachada con una cruz.

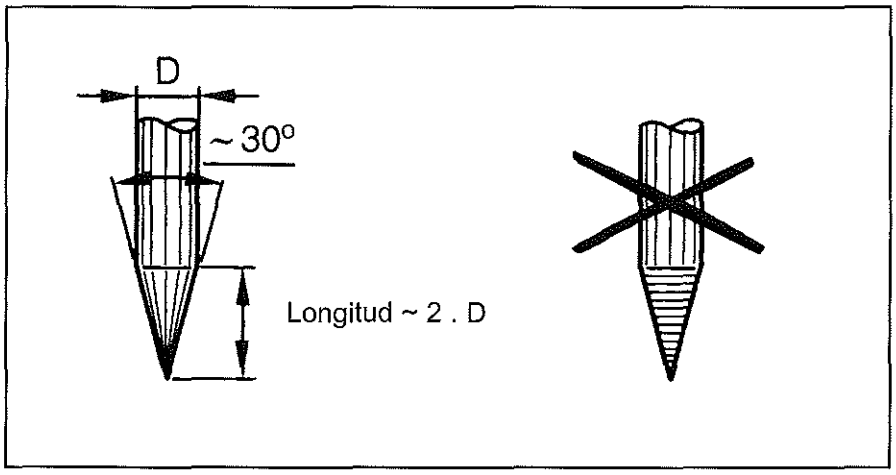


FIGURA 12.12: PREPARACIÓN ACONSEJABLE DE LA PUNTA DEL ELECTRODO PARA SOLDEO CON CORRIENTE CONTINUA

En el soldeo con corriente alterna el extremo de la punta debe estar ligeramente redondeado. La punta se redondea por sí sola si el electrodo es cuidadosamente sobrecargado, haciéndose innecesario amolarla.

Se puede conformar la punta adecuada del electrodo para corriente alterna, cebando antes del soldeo un arco sobre una placa de cobre refrigerada por agua empleando corriente continua polaridad inversa, cuando el electrodo empieza a fundirse se redondea su punta quedando con una geometría óptima para el soldeo en corriente alterna, ver figura 12.13.

La tabla 12.3 resume el tipo de corriente a utilizar, la geometría del extremo y la aplicación de los diferentes electrodos de volframio.

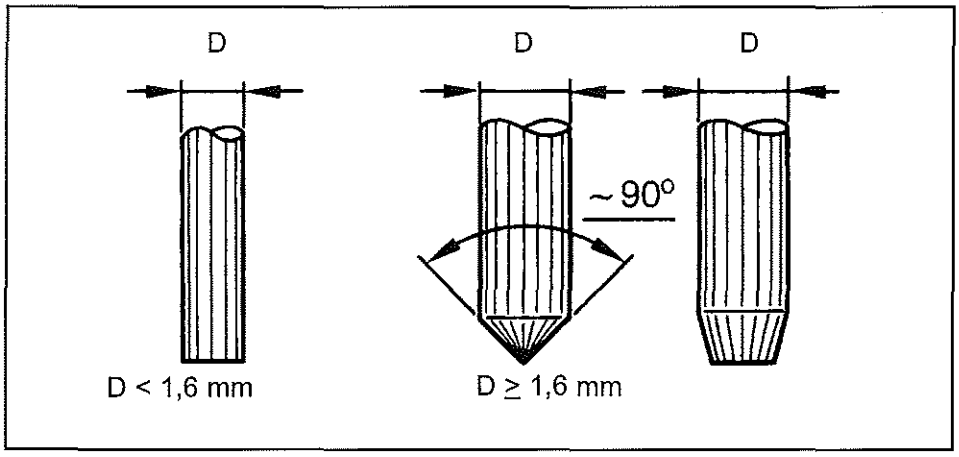


FIGURA 12.13: PREPARACIÓN ACONSEJABLE DE LA PUNTA DEL ELECTRODO PARA SOLDEO CON CORRIENTE ALTERNA

Tipo de electrodo	Tipo de corriente con la que se utiliza	Aplicación común	Geometría del extremo del electrodo
Volframio puro	c.a.	Aluminio y magnesio	Redondeada
Volframio con torio o volframio con cerio o con lantalo	c.c.	Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio	Afilado
Volframio con circonio	c.a. (generalmente) c.c.	Aluminio y magnesio con c.a. Aceros, cobre, titanio con c.c.	Redondeada con c.a. Afilada con c.c.

TABLA 12.3: ELECTRODOS DE VOLFRAMIO. GEOMETRÍA, TIPO DE CORRIENTE Y APLICACIONES

12.4.4. Contaminación del electrodo

En la tabla 12.4 se resumen las causas que pueden provocar la contaminación y sus soluciones.

Tipo de contaminación del electrodo	Causa de la contaminación	Soluciones
Por el metal de soldadura o el metal de aportación fundidos	Contacto entre el electrodo y la varilla durante el soldeo, o al introducir el electrodo en el baño de fusión	Utilizar una buena técnica de soldeo evitando este tipo de contacto
Por el aire	Longitud libre del electrodo de volframio fuera de la boquilla demasiado larga	Utilizar una longitud máxima del electrodo igual al diámetro de la boquilla
	Caudal de gas de protección insuficiente	No utilizar menos caudal que el recomendado
	Tiempo de salida de postflujo de gas de protección insuficiente	El tiempo de postflujo deberá ser el suficiente para permitir que el electrodo se enfríe
Por agua	Fugas en la refrigeración	Eliminar las fugas
	Condensación del agua atmosférica de la tobera	Utilizar agua templada

TABLA 12.4: CONTAMINACIÓN DEL ELECTRODO

12.4.5. Intensidades admisibles

En la tabla 12.5 se indican las intensidades admisibles en función del tipo de corriente y del diámetro del electrodo.

Si la intensidad de corriente es baja para el diámetro del electrodo, el arco es errático e inestable. Si, por el contrario, la intensidad de corriente es demasiado elevada, se produce un calentamiento excesivo con fusión del electrodo y pueden caer gotas de volframio en la soldadura. El arco se vuelve inestable.

Diámetro del electrodo (mm)	Corriente continua (A)				Corriente alterna (A)	
	Electrodo negativo (-)		Electrodo positivo (+)		Volframio puro	Volframio con óxidos
	Volframio puro	Volframio con óxidos	Volframio puro	Volframio con óxidos		
1,6	60 a 150	60 a 150	10 a 20	10 a 20	45 a 90	60 a 125
2	75 a 180	100 a 200	15 a 25	15 a 25	65 a 125	85 a 160
2,5	130 a 230	170 a 250	17 a 30	17 a 30	80 a 140	120 a 210
3,2	160 a 310	225 a 330	20 a 35	20 a 35	150 a 190	150 a 250

TABLA 12.5: INTENSIDADES ADMISIBLES PARA CADA ELECTRODO

12.5. Metales de Aportación

12.5.1. Varillas

El metal de aportación en el soldeo TIG no es siempre necesario cuando se sueldan piezas delgadas (de menos de 3 mm de espesor) utilizando una preparación de bordes recta o con bordes levantados. Cuando es necesario emplear material de aportación, éste puede alimentarse manual o automáticamente.

Con la finalidad de obtener uniones sin defectos, es muy importante que el metal de aportación se mantenga libre de contaminaciones ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad. Debe por tanto mantenerse en su paquete hasta el momento de ser utilizado. Durante el soldeo es importante que la parte caliente de la varilla esté siempre lo suficientemente cerca del baño de fusión como para que lo cubra el gas de protección.

Puesto que el TIG es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de aportación, cuando se utilice, deberá tener básicamente una composición química similar a la del material de base.

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros: 1,1; 1,6; 2; 2,4; 3,2; 4 y 4,8 mm, con una longitud de 900 mm.

12.5.2. Insertos consumibles

Los insertos consumibles se utilizan para las pasadas de raíz realizadas desde un sólo lado, donde se requiera alta calidad de la soldadura con el mínimo de reparaciones, así como cuando el soldeo se deba realizar en zonas de difícil accesibilidad. Son muy empleados en tubería para asegurar la penetración, aunque también se emplean en depósitos a presión y en estructuras.

El diseño de la unión deberá ser compatible con la forma del inserto para conseguir soldaduras de alta calidad.

En la figura 12.14 (A) se indican las formas de los insertos consumibles más comunes y su disposición.

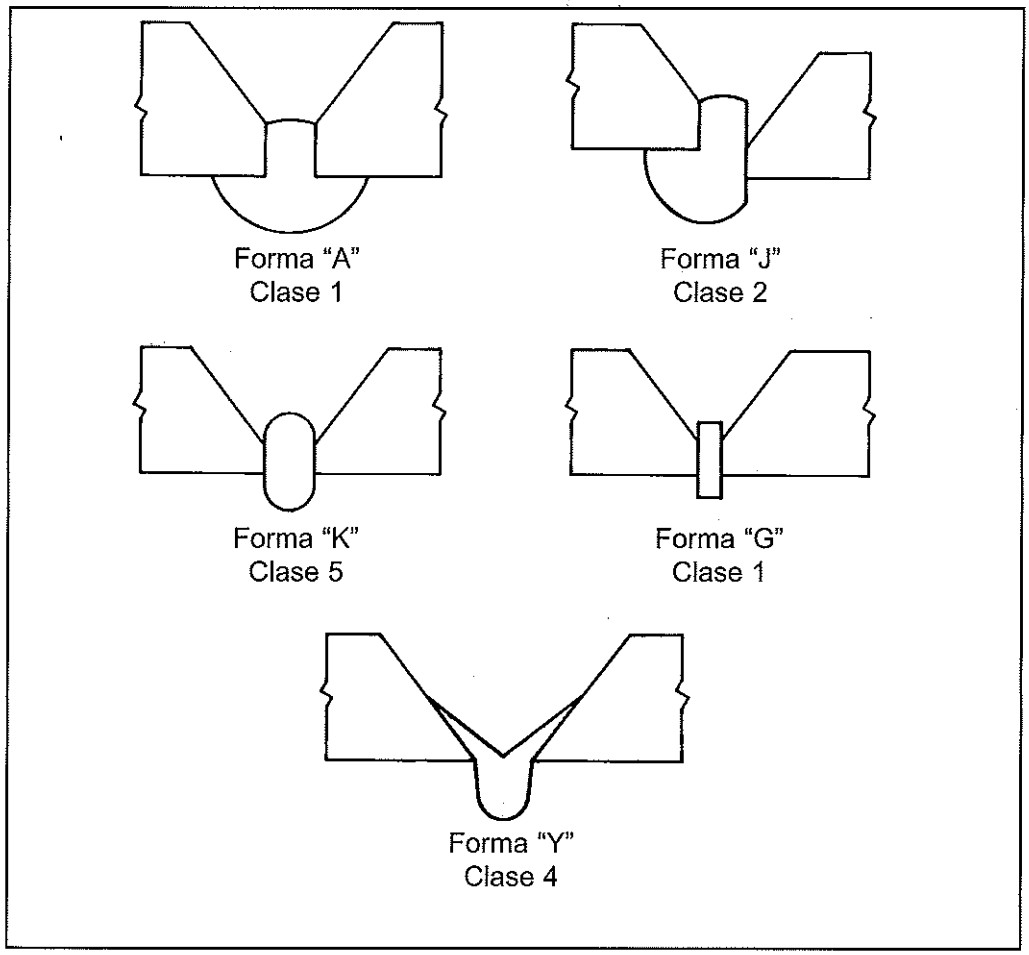


FIGURA 12.14 (A): INSERTOS CONSUMIBLES MÁS COMUNES

Los insertos del tipo K ó G se disponen de forma excéntrica [ver figura 12.14 (B)] para el soldeo en posición 5G (ASME) o PF (EN), eje de la tubería en posición horizontal sin girar, para compensar la tendencia del metal de soldadura a descolgarse, cuando se suelda en vertical ascendente.

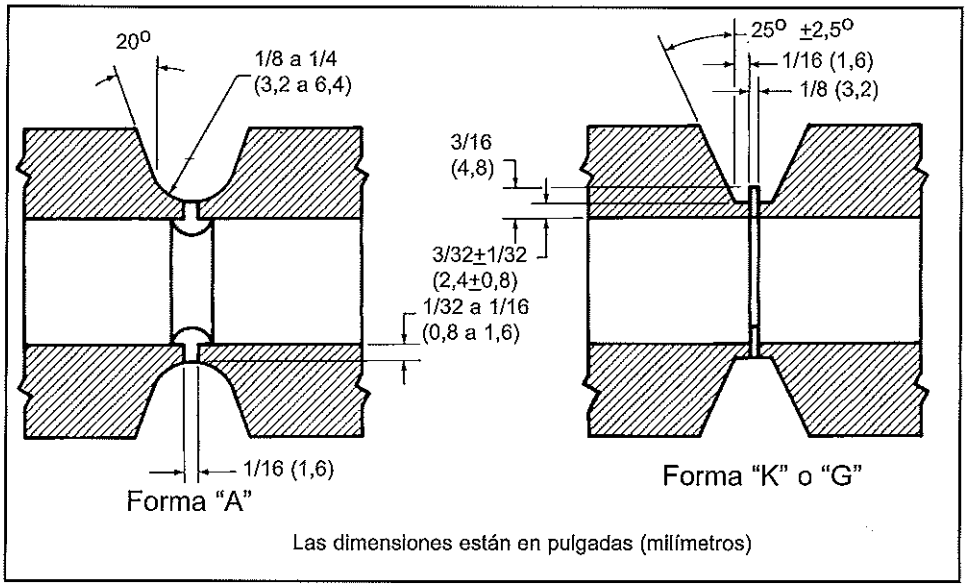


FIGURA 12.14 (B): DISPOSICIÓN TÍPICA DE INSERTOS CONSUMIBLES EN TUBERÍA

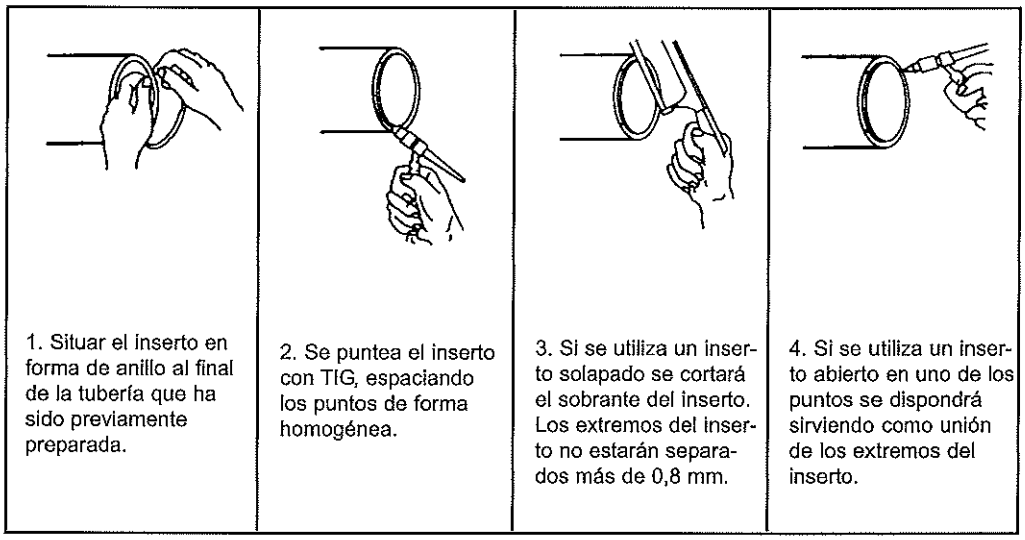
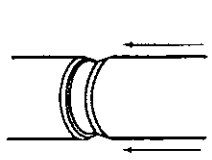
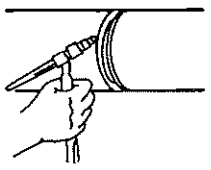

1. Situar el inserto en forma de anillo al final de la tubería que ha sido previamente preparada.
2. Se puntea el inserto con TIG, espaciando los puntos de forma homogénea.
3. Si se utiliza un inserto solapado se cortará el sobrante del inserto. Los extremos del inserto no estarán separados más de 0,8 mm.
4. Si se utiliza un inserto abierto en uno de los puntos se dispondrá sirviendo como unión de los extremos del inserto.

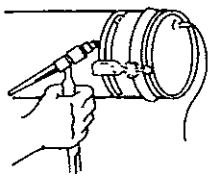
FIGURA 12.14 (C): PASOS A SEGUIR PARA SOLDAR TUBERÍA CON INSERTOS CLASE 1, 2, 3 Y 5



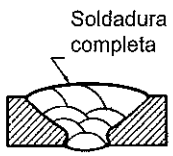
5. Se sitúa la otra parte de la tubería bien alineada.



6. Puntear el otro tubo.



7. Disponer el gas de respaldo (cuando sea requerido) y realizar la soldadura.



8. Completar la unión con TIG o FCAW, MIG/MAG o electrodo revestido. Mantener el gas de respaldo (cuando exista) hasta completar las 2 ó 3 primeras pasadas.

FIGURA 12.14 (C) (CONTINUACIÓN): PASOS A SEGUIR PARA SOLDAR TUBERÍA CON INSERTOS CLASE 1, 2, 3 Y 5

Los insertos consumibles se sitúan en la unión como indican las figuras 12.14 (A), (B) y 12.14 (C)-1. Se puntea la unión con los bordes alineados y teniendo cuidado para evitar sobretensionar los bordes de la unión. Se conseguirá una raíz sana si se sitúan los puntos en los lugares adecuados, si el soldador maneja con habilidad la pistola TIG y si se ha seleccionado bien el gas de respaldo en caso de necesitarse, por ejemplo en los aceros inoxidables. En la figura 12.14 (C) se representan los pasos a seguir para realizar el soldeo en tubería con insertos consumibles.

El soldador con experiencia es capaz de reconocer cuando se ha fundido completamente el inserto observando el tamaño del baño de fusión. En general las imperfecciones observadas por la cara de la soldadura son reflejo de las imperfecciones existentes en la raíz.

12.6. Gases de Protección

Para el soldeo TIG se utilizarán los siguientes gases:

- Helio
- Argón
- Argón + Helio

- Argón + Hidrógeno
- Argón + Hidrógeno + Helio

Ver el capítulo 11 donde se han explicado las características de los diferentes gases.

En este proceso de soldeo se suele emplear métodos de protección de la raíz, también explicados en el capítulo 11.

Normalmente se suelen utilizar de 7 a 16 L/min para el argón y de 14 a 24 L/min para el helio. El empleo excesivo de gas de protección produce turbulencias y favorece la entrada de aire de la atmósfera contaminando la soldadura. La presión de trabajo adecuada debe ser de 2 a 3 bar que es lo mismo que 2 a 3 Kg/cm^2.

12.7. Técnicas Operativas

12.7.1. Preparación de la unión

El diseño de la unión adecuada es lo que permite que el soldeo sea cómodo para el soldador y tiene como primera finalidad facilitar una accesibilidad adecuada. Deberá permitir que el arco, el metal de aporte y el gas de protección lleguen a la zona inferior de la unión. La elección de la geometría de la unión depende del tipo de material base y el espesor.

En las soldaduras TIG se pueden encontrar imperfecciones debidas a la elección de una técnica de preparación de bordes no adecuada.

Por esta razón las piedras de esmerilar deben limpiarse cuidadosamente y utilizarse únicamente para tareas de soldeo, sin mezclar las piedras de los diferentes materiales.

La preparación de bordes ideal se consigue mediante el empleo de máquinas herramientas (torno, fresadoras) pero en este caso se deberán eliminar los restos del fluido de corte que pudiesen quedar después del mecanizado.

Si se preparan los bordes mediante oxicorte o por plasma se deberán retirar los óxidos y escorias, por ejemplo mediante esmerilado.

Tolerancias de la unión

Si las soldaduras se van a efectuar de forma mecanizada las dimensiones de las piezas deben ser muy exactas. El soldeo manual permite que la preparación de bordes sea más irregular.

Limpieza

Es muy importante en el soldeo TIG cuidar la limpieza del material base y del de aportación. Ambos materiales deben estar exentos de aceite, grasa, pintura y cualquier residuo. Se preferirá por este motivo que los materiales de aportación se conserven en sus embalajes.

12.7.2. Cebado del arco

El método más sencillo de cebado de arco (cebado por raspado) es raspando el electrodo, muy cuidadosamente, contra el metal base. Sin embargo, el riesgo de inclusiones de volframio en el metal base es alto, para evitar esto el arco puede ser cebado en una placa adicional de cobre, conocida como pieza de arranque. Otra desventaja del cebado por raspado es la facilidad con que puede dañarse el electrodo. Una vez cebado el arco, retirar el electrodo hasta que quede a unos 3 mm de la pieza, (ver figura 12.15).

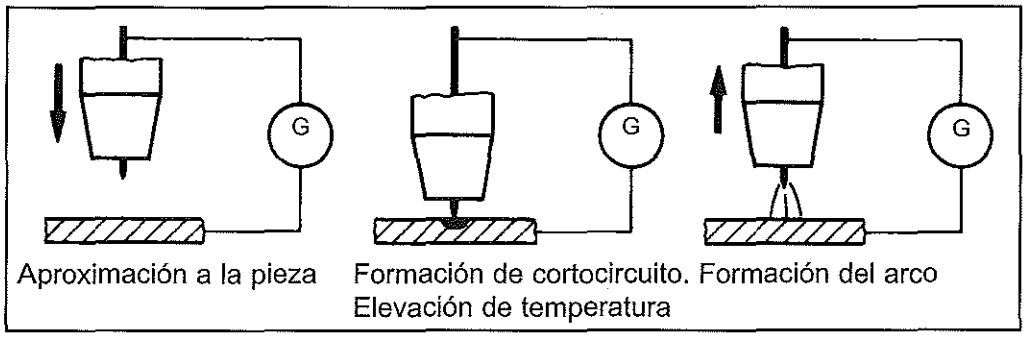


FIGURA 12.15: CEBADO DEL ARCO POR RASPADO. G = FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para evitar los inconvenientes del cebado por raspado se utiliza una corriente de alta frecuencia y elevada tensión. Este método es el utilizado en corriente alterna y algunas veces con corriente continua.

Por tanto, cuando se utiliza corriente alterna no es necesario tocar con el electrodo sobre la pieza para establecer el arco, sino poner bajo tensión el circuito de soldeo y sujetar el portaelectrodos, de forma que el electrodo quede aproximadamente horizontal y a unos 50 mm de la pieza. A continuación, mediante un giro de muñeca, aproximar el extremo del electrodo a la pieza, hasta que quede a unos 2 ó 3 mm de la misma. En este punto, la corriente de alta frecuencia vence la resistencia del aire y se establece el arco. El movimiento de aproximación del electrodo debe realizarse rápidamente, para conseguir que llegue el máximo caudal de gas de protección a la zona de soldeo (ver figura 12.16).

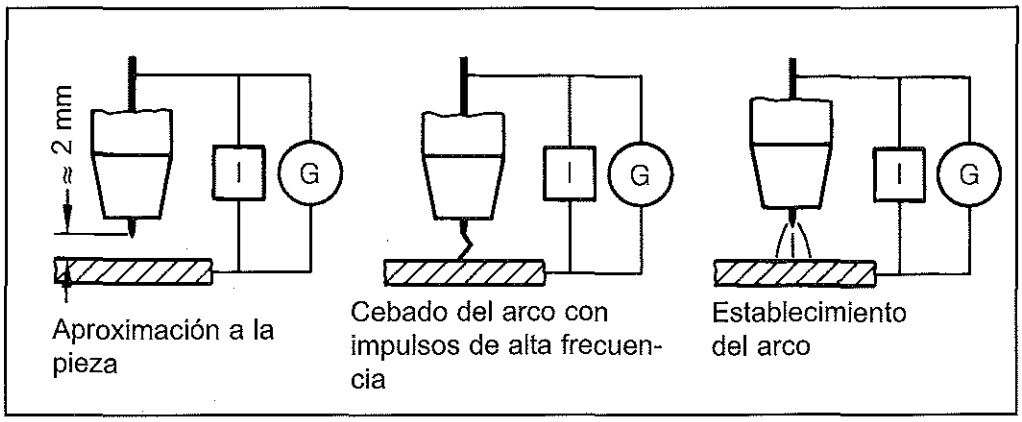


FIGURA 12.16: CEBADO DE ARCO POR CORRIENTE DE ALTA FRECUENCIA.
G = FUENTE DE ALIMENTACIÓN. I = GENERADOR DE IMPULSOS DE ALTA FRECUENCIA

Para extinguir el arco, tanto en corriente alterna como en corriente continua, basta con retirar el electrodo hasta la posición horizontal mediante un rápido movimiento de muñeca. Este movimiento debe realizarse rápidamente a fin de evitar deterioros en la superficie de la soldadura.

El inconveniente de las corrientes de alta frecuencia es la distorsión que producen en las comunicaciones.

Algunos equipos llevan instalado un dispositivo que se acciona por medio de un pedal, y que permite disminuir gradualmente la intensidad de la corriente al acercarse al final de la soldadura (función de control de pendiente). Este dispositivo disminuye el tamaño del cráter y se opone a la fisuración del mismo. En otros equipos el accionamiento de esta función se realiza directamente desde el portaelectrodos.

Si se utiliza un portaelectrodos con refrigeración por agua, debe evitarse el tocar con la tobera sobre la pieza cuando está circulando la corriente. Los gases calientes en el interior de la tobera pueden provocar el establecimiento del arco entre el electrodo y la tobera, con el consiguiente deterioro de la misma.

12.7.3. Técnica de soldeo manual

La figura 12.17 indica la técnica que se debe seguir para iniciar y efectuar el soldeo.

Una vez cebado el arco, se realizará un movimiento circular con el electrodo hasta formar el baño de fusión, ver figura 12.17 (a), pasando después a un movimiento rectilíneo.

- La inclinación del portaelectrodo será contraria al sentido de avance, formando un ángulo de 75º con la direcciónv de avance, o lo que es lo mismo un ángulo de 15º respecto a la vertical, ver figura 12.17 (b).
- La varilla formará un ángulo de aproximadamente 15º en sentido de avance, ver figura 12.17 (c).
- La varilla de aportación se introducirá en el baño de fusión con un movimiento rápido de vaivén de recorrido máximo 6 mm. Sin que salga nunca la punta en estado incandescente del área de protección del gas, ver figura 12.17 (d).
- Tanto al finalizar como al interrumpir el cordón de soldadura, se continuará protegiendo el baño de fusión, para lo cual no debe retirarse el soplete hasta la total solidificación del baño.

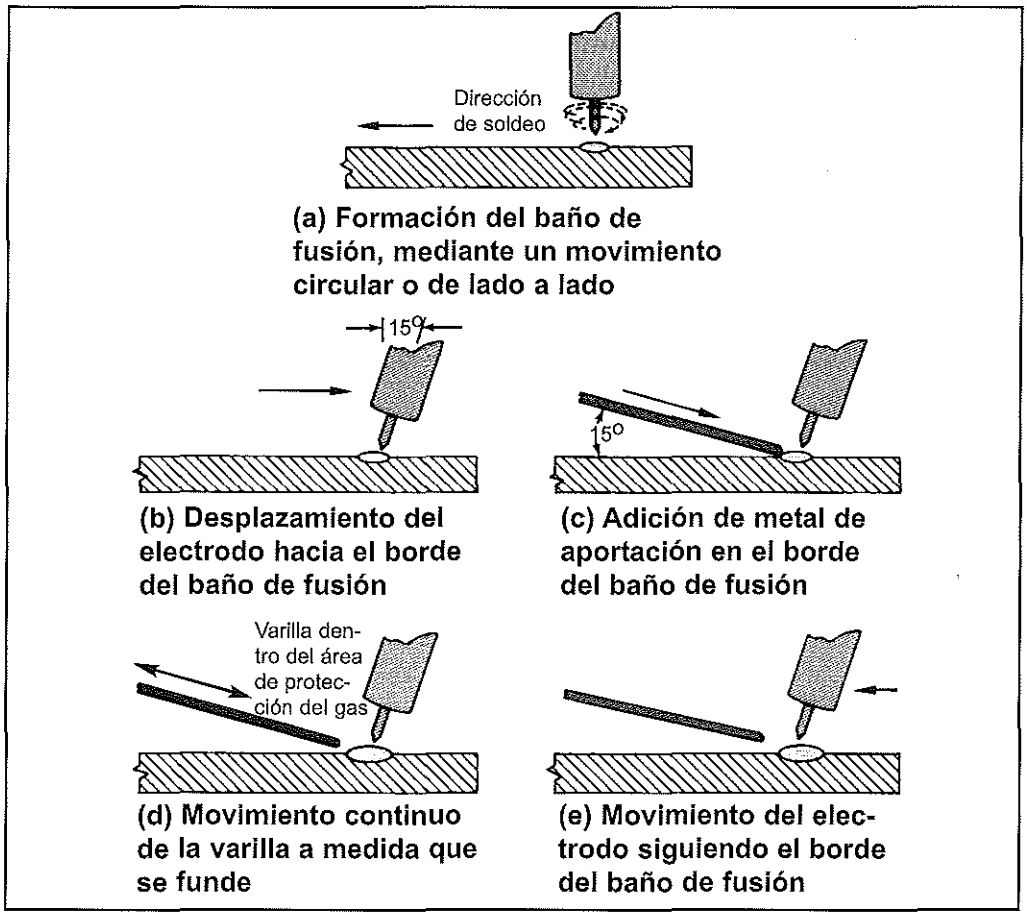

Dirección de soldeo
(a) Formación del baño de fusión, mediante un movimiento circular o de lado a lado
15º
(b) Desplazamiento del electrodo hacia el borde del baño de fusión
15º
(c) Adición de metal de aportación en el borde del baño de fusión
Varilla dentro del área de protección del gas
(d) Movimiento continuo de la varilla a medida que se funde
(e) Movimiento del electrodo siguiendo el borde del baño de fusión

FIGURA 12.17

12.8. Técnicas Especiales

12.8.1. Arco pulsado

Con la finalidad de obtener mayor control sobre el aporte de calor al metal base y una mejor calidad de soldadura, se puede emplear la corriente pulsada.

Se trata de una **variante** del proceso TIG en la que la corriente de soldeo varía **cíclicamente** entre un nivel **mínimo** (corriente de fondo) y **máximo** (corriente de pico), a frecuencias que dependen del trabajo a realizar y que pueden oscilar entre milésimas de segundo y el segundo, ver figura 12.18.

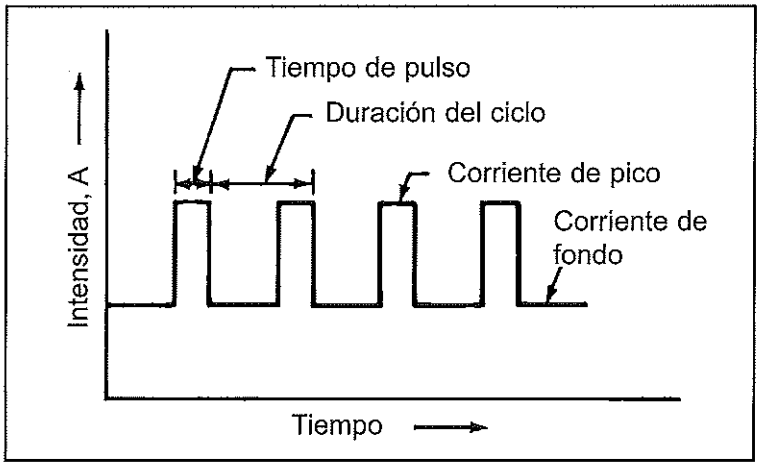


FIGURA 12.18: CICLO DE CORRIENTE EN EL SOLDEO CON ARCO PULSADO

El resultado es una corriente y un arco **pulsatorios** que, al aplicarlos a la soldadura, producen una serie de puntos que se solapan hasta formar un cordón continuo, ver figura 12.19.

Cada uno de estos puntos, que constituyen el cordón, se obtienen al producirse un impulso de gran intensidad. Posteriormente, al disminuir la corriente hasta el valor de base, se produce el enfriamiento del baño y la solidificación parcial del mismo, hasta que la generación de un nuevo impulso vuelve a iniciar todo el proceso. Los sistemas de regulación del equipo permiten ajustar el valor de la corriente de base, así como la amplitud y frecuencia de los impulsos (nº de impulsos por segundo) con vistas a conseguir que los puntos se solapen y se obtenga un cordón continuo.

El soldeo TIG por arco pulsado puede aplicarse manual o automáticamente y, en cualquier caso, puede realizarse con o sin material de aportación.

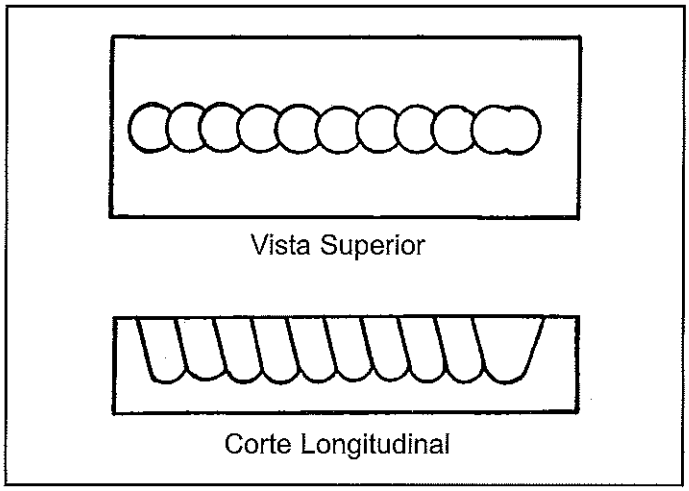


FIGURA 12.19: SOLDADURA OBTENIDA POR EL PROCESO TIG CON ARCO PULSADO

Por sus características, el proceso se adapta particularmente a todos aquellos casos en los que sea importante limitar la aportación de calor; bien sea por razón de espesor, como en la soldadura de láminas muy finas, o por razones de tipo metalúrgico.

La corriente pulsada permite una mayor tolerancia en la preparación de los bordes, facilita la obtención del cordón de penetración y reduce las deformaciones.

Otra ventaja típica del proceso se presenta en el soldeo de uniones circulares de tuberías. Normalmente, cuando se realiza este tipo de trabajo por los procedimientos clásicos, es necesario cambiar la intensidad, o la velocidad de avance, para adaptarse a las diferentes posiciones que se van presentando a medida que se va rodeando el tubo con vistas a obtener un cordón lo más uniforme posible. La corriente pulsada es menos sensible a las variaciones de posición, por lo que permite realizar un cordón continuo y uniforme sin necesidad de variar la velocidad de avance ni los parámetros de soldeo.

Las ventajas del soldeo por arco pulsado frente al soldeo convencional se pueden resumir en:

- Menor aporte térmico que produce menores deformaciones y un baño de fusión y una ZAT más estrecha.
- Mayor penetración.
- Mejor control del baño de fusión en posiciones difíciles.

La intensidad de fondo, o de base, suele ser de 15, 20 ó 30 A mientras que la intensidad de pico, o del pulso, depende del material a soldar, de la penetración

deseada y de la duración del pulso. En general se puede decir que la corriente de pico será un 40 a 60% más alta que la corriente en el soldeo no pulsado y la corriente de base un 25% de la corriente de pico. Se indican a continuación algunos ejemplos.

- Espesor del acero inoxidable: 0,5 mm.

  Intensidad del pulso: 50 Amperios. Tiempo del pulso: 0,1 segundo.
  Velocidad de avance: 6 mm/s
  Intensidad de base: 12 A

- Espesor del acero inoxidable: 4 mm.

  Intensidad del puso: 180–200 A.
  Tiempo del pulso: 0,75 s
  Velocidad de avance: 1,5 mm/s
  Intensidad de base: 45 – 50 A

12.8.2. Soldeo con alambre caliente

Otra variedad es el TIG con alambre caliente, ver figura 12.20. Se puede utilizar en procesos automáticos o manuales. Aquí la varilla aportada de forma continua se **precalienta** con una corriente baja, entrando a alta temperatura en el baño, fundiéndose a mucha más velocidad y lográndose altas velocidades de aportación. Se utiliza principalmente para **recargues** y para soldeo automatizado de piezas de mayor espesor.

El precalentamiento del alambre de aportación se consigue mediante el paso de una corriente alterna a través del mismo. Esta corriente se suministra por una **unidad independiente**, que puede regularse en función del diámetro del alambre y de la velocidad de alimentación.

Algunas de las ventajas de utilizar el sistema de alambre caliente son:

- Una velocidad de soldeo mucho mayor. Esto hace del proceso TIG una alternativa económica en el soldeo de materiales gruesos.
- Disminuir el riesgo de formación de **sopladuras**, por lo que también mejora la calidad de la soldadura.
- Menor peligro de falta de fusión.

12.8.3. Soldeo orbital

Para el soldeo automático de tubos es interesante el sistema de **soldeo orbital,** en el que el electrodo se hace girar mecánicamente alrededor de la unión circunferencial con o sin aportación de metal.

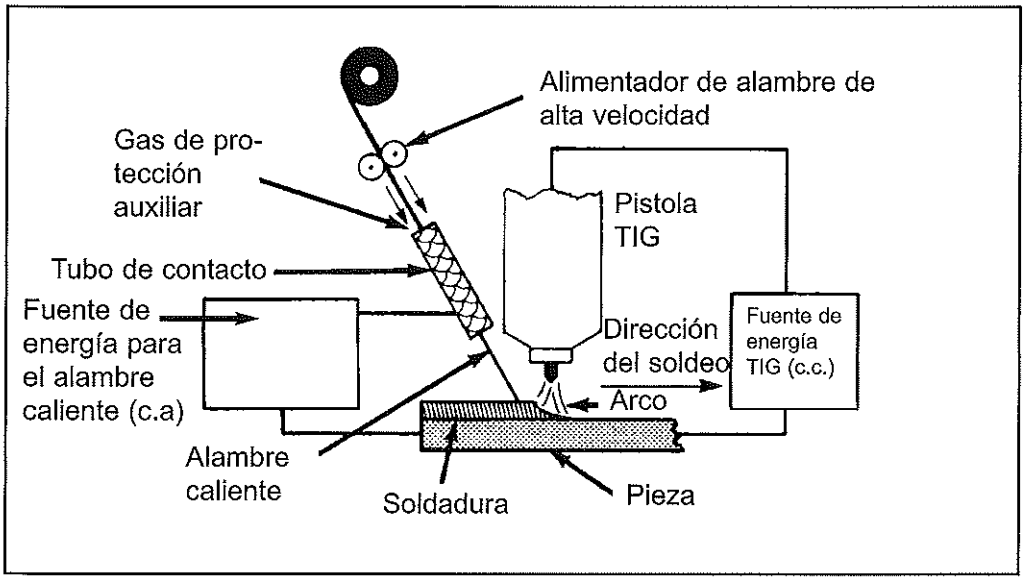


FIGURA 12.20: INSTALACIÓN PARA SOLDEO TIG CON ALAMBRE CALIENTE

Llevan controles de corriente y velocidad para adaptar estos parámetros a las distintas posiciones de soldeo de la soldadura circunferencial, aunque con sistemas de arco pulsado estos parámetros pueden ser los mismos para la unión completa. Para uniones tubo–placa el soldeo se hace interiormente de forma automática, dando origen al sistema de **soldeo interior**. La protección se efectúa por una corriente de gas inerte en el interior del tubo, ver figura 12.21.

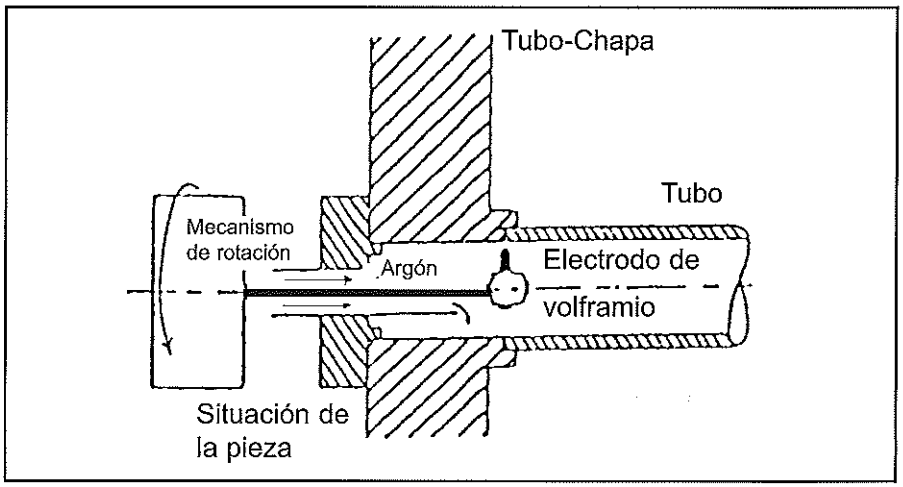


FIGURA 12.21: SOLDEO ORBITAL

12.9. Defectos Típicos en las Soldaduras

Defecto: Falta de penetración en la raíz

Aspecto: Entalla o rendija en raíz.

Causa	*Remedio*
- Nivel de corriente demasiado bajo.	- Incrementar la intensidad.
- Velocidad de soldeo demasiado alta.	- Disminuir la velocidad de soldeo.
- Incorrecta preparación de unión.	- Incrementar el ángulo del chaflán, reducir el talón de la raíz o aumentar la separación en la raíz.
- Arco demasiado largo	- Reducir la longitud del arco.
Aspecto: Raíz cóncava.	
- Puntos de soldadura sin fundir totalmente durante el soldeo.	- Reducir el tamaño de los puntos.
- En posición plana, caudal de gas de respaldo demasiado alto.	- Reducir la velocidad del caudal del gas de respaldo.
- Inaceptable preparación de la unión.	- Emplear preparaciones en U y asegurarse que la gota de metal fundido no forma puente entre las paredes de los bordes de la unión.

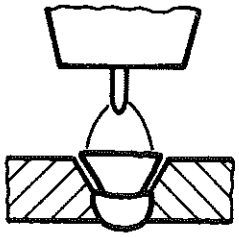
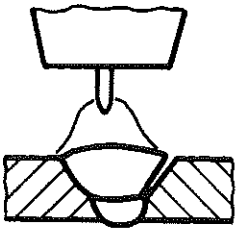
Defecto: Mordedura

Aspecto: Canal a lo largo del borde de la soldadura

Causa	*Remedio*
- Corriente de soldeo demasiado alta.	- Reducir la intensidad.
- Velocidad de soldeo demasiado alta.	- Reducir la velocidad de soldeo.
- Pistola inclinada lateralmente.	- Situar la pistola en un plano perpendicular a la chapa.

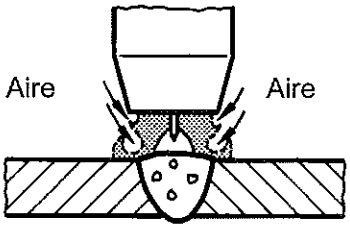
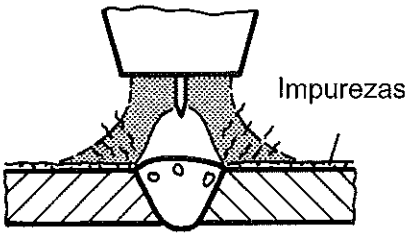
Defecto: Falta de fusión en los bordes

Aspecto: Normalmente no visible, detectable por END o doblado lateral.

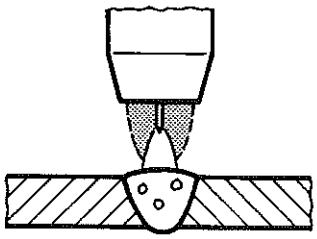
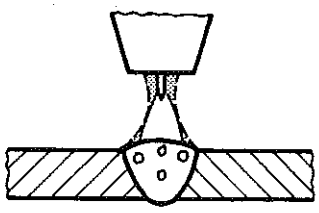
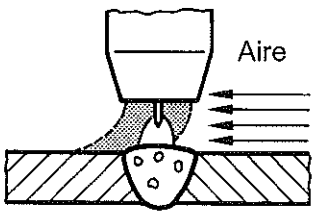
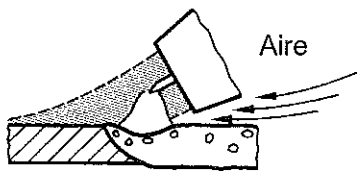
Causa	*Remedio*
- Nivel de corriente demasiado bajo. - Velocidad de soldeo demasiado alta.	- Incrementar la intensidad. - Disminuir la velocidad de soldeo.
	
- Ángulo del portaelectrodo incorrecto.	- Inclinar el portaelectrodo hacia atrás y mantener el arco sobre el borde delantero de la gota de metal fundido.
- Posición no centrada respecto a los bordes.	- Situar el portaelectrodo centrado respecto a los bordes de la unión.
	
- Incorrecta preparación de la unión. - Diámetro de la varilla excesivo para el espesor de chapa a soldar. - Limpieza insuficiente.	- Incrementar el ángulo de la unión. - Reducir el diámetro de la varilla. - Limpiar la superficie de las chapas.

Defecto: Porosidad

Aspecto: Poros superficiales y más normalmente subsuperficiales detectables por radiografiado

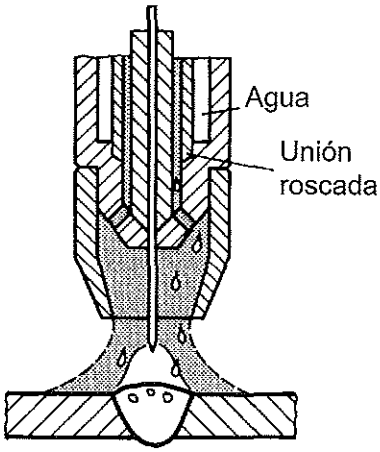
Causa	*Remedio*
- Protección insuficiente.	- Incrementar el caudal del gas de protección.
- Turbulencias en el gas de protección.	- Disminuir el caudal del gas. Utilizar un laminador de flujo o cambiar la boquilla si presenta algún defecto.
	
- Defectuosa distribución de la protección de la unión.	- Proteger todo el área de la unión.
- Suciedad en la chapa (aceite, grasa, pintura, etc).	- Limpiar las superficies y desengrasarlas.
	
- Suciedad en la varilla de aporte. - Gas contaminado.	- Limpiar y desengrasar la varilla. - Cambiar las botellas de gas. Purgar las líneas de gas antes de soldar. Comprobar las conexiones. Emplear tubos de cobre o neopreno.

Defecto: Porosidad

Causa	*Remedio*
- Pistola demasiado separada de la pieza. 	- Acercar la pistola a la pieza.
- Tobera demasiado estrecha. 	- Seleccionar la tobera adecuada.
- Soldeo en campo. Velocidad del viento elevada. 	- Proteger la zona de soldeo del viento.
- Ángulo de inclinación de la pistola demasiado pequeño. (Ángulo de desplazamiento muy grande) 	- Aumentar la inclinación respecto al material base.

Defecto: Porosidad

Causa	*Remedio*
- Entrada del agua de refrigeración en el gas de protección por existir una fuga.	- Inspeccionar periódicamente el equipo de soldeo.



Defecto: Grietas en el metal de soldadura

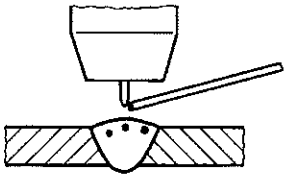
Aspecto: Grieta a lo largo del centro de la soldadura.

Causa	*Remedio*
- Excesiva tensión transversal en soldaduras embridadas.	- Modificar el proceso de soldeo para reducir las tensiones debidas al efecto térmico.
- Relación profundidad/ancho demasiado baja.	- Ajustar los parámetros para trabajar con una relación profundidad/ancho 1:1.
- Contaminación de las superficies.	- Limpiar las superficies, eliminando muy especialmente los lubricantes de corte.
- Mal ajuste entre las piezas en las soldaduras en ángulo de forma que quedan aberturas largas.	- Mejorar el ajuste de las chapas en la unión.

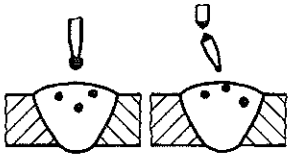
Defecto: Inclusiones de volframio

Aspecto: Visible en radiografías. Las inclusiones de volframio tienen el mismo efecto que las entallas y son zonas de posible corrosión rápida

Causa	*Remedio*
- Contacto entre pieza y electrodo de volframio.	- Separar el portaelectrodos de la pieza. Disminuir la longitud libre del electrodo de volframio.
- Contacto entre varilla de aporte y electrodo de volframio.	- Introducir la varilla en el baño de fusión sin tocar al electrodo.



- Intensidad excesiva tanto en el soldeo c.a. como en c.c. - La figura muestra el caso del soldeo en corriente continua.	- Utilizar la intensidad adecuada.

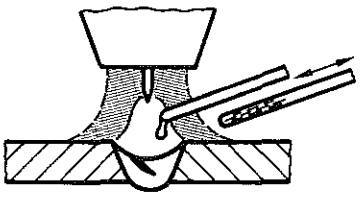
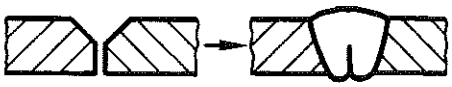
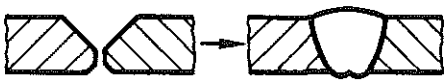


Defecto: Inclusiones de óxidos

Aspecto: Inclusiones de forma irregular. Visibles mediante radiografía

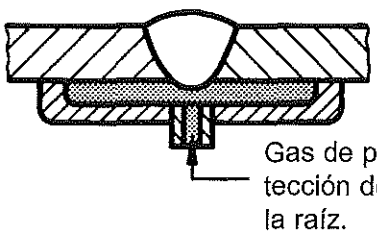
Causa	*Remedio*
- Insuficiente limpieza de las superficies del metal base y de la varilla, especialmente en materiales con óxidos refractarios (aluminio y magnesio).	- Realizar una limpieza mecánica y/o química adecuada. También se deberá cepillar entre pasadas.

Defecto: Inclusiones de óxidos

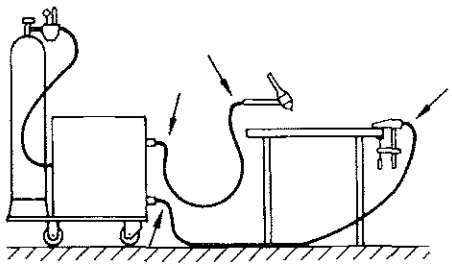
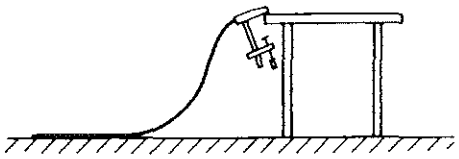
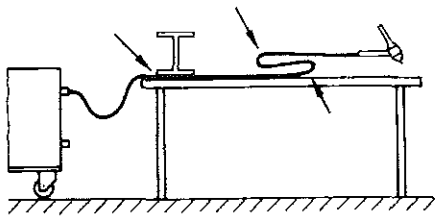
Causa	*Remedio*
- Técnica de soldeo no adecuada. Sacar repetidamente la varilla fuera de la "cortina" de gas protector en el movimiento de vaivén de la varilla durante el soldeo.	- Utilizar una técnica adecuada.
	
- Preparación de la soldadura inadecuada. Excesivo talón.	- Reducir el talón. Cuando se suelda el aluminio se achaflanará el borde inferior de las piezas
	

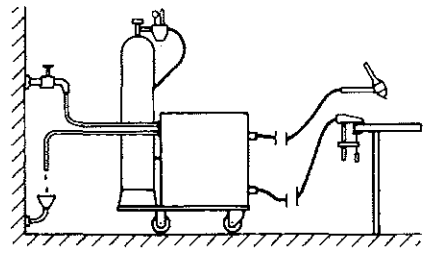
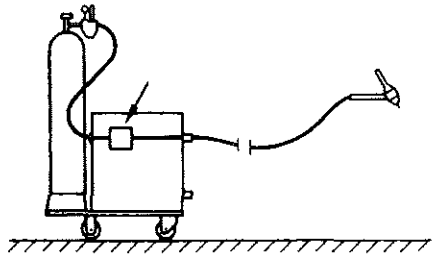
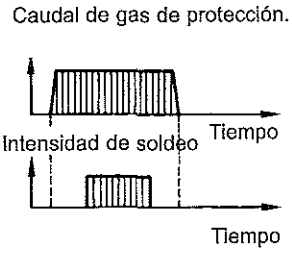
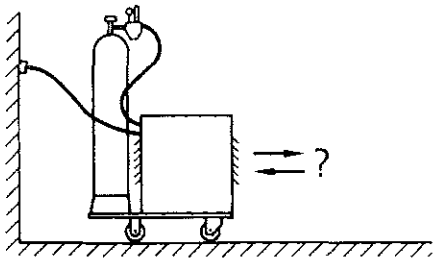
Defecto: Raíz oxidada

Aspecto: Óxido en la raíz de la soldadura

Causa	*Remedio*
- Falta de protección en la raíz. Oxidación de la raíz.	- Utilizar gas de respaldo.
	 Gas de protección de la raíz.

12.10. Fallos en el Equipo de Soldeo

Componente del equipo	Causa del fallo	Consecuencia
Conexión de las mangueras 	Rotura por excesiva curvatura	Arco inestable. Quemaduras en las zonas de rotura
Mordaza de masa 	Mala conexión.	Alta resistencia eléctrica que dificulta el cebado del arco y la estabilidad de éste.
Conducto del gas de protección. Conducto del agua de refrigeración. 	Cables doblados o retorcidos.	Caudal de protección muy bajo y por tanto formación de poros. Enfriamiento insuficiente que produce sobrecalentamiento y destrucción de los portaelectrodos enfriados por agua.

Componente del equipo	Causa del fallo	Consecuencia
Sistema de refrigeración 	Impurezas en el agua de refrigeración.	Se produce un sobrecalentamiento del portaelectrodo. Normalmente se detecta el fallo demasiado tarde porque hay suficiente presión en el sistema de refrigeración.
Válvula del gas de protección. 	Tiempo de postflujo o preflujo muy corto. Mal funcionamiento de la válvula.	Insufiente protección para el electrodo de volframio y para el baño de fusión antes, durante y después del soldeo. Comprobar que el gas de protección obecede al siguiente diagrama: 
Ventilador 	El ventilador gira en sentido contrario al adecuado.	Enfriamiento insuficiente de los componentes del equipo que puede producir sobrecalentamiento y destrucción de la fuente de energía. Si se instala un protector adecuado la fuente no se encenderá si el ventilador gira en sentido contrario al adecuado.

Capítulo 13 Soldeo MIG/MAG

INDICE

13.1. Principios del proceso 291

13.1.1. Descripción y denominaciones 291

13.1.2. Ventajas y limitaciones 292

13.2. Equipo de soldeo 293

13.2.1. Fuentes de energía 294

13.2.2. Sistema de alimentación de alambre 297

13.2.3. Pistola 302

13.2.4. Alimentación de gas protector y de agua de refrigeración 304

13.2.5. Panel de control 304

13.3. Modos de transferencia 306

13.4. Materiales de aportación 311

13.5. Gases de protección 311

13.6. Parámetros de soldeo 313

13.6.1. Relación entre los parámetros 313

13.6.2. Extremo libre del alambre/electrodo 314

13.6.3. Velocidad de desplazamiento 315

13.6.4. Polaridad.....316

13.6.5. Ángulo de inclinación de la pistola (Ángulo de desplazamiento 316

13.7. Técnicas especiales 316

13.7.1. Soldeo por puntos.....316

13.8. Defectos típicos en las soldaduras 318

13.9. Fallos en el equipo MIG/MAG. Causas y consecuencias.....326

13.1. Principios del Proceso

13.1.1. Descripción y denominaciones

El soldeo por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso de soldeo en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar.

El electrodo es un alambre macizo, desnudo, que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume.

El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre/electrodo. El proceso está esquematizado en la figura 13.1.

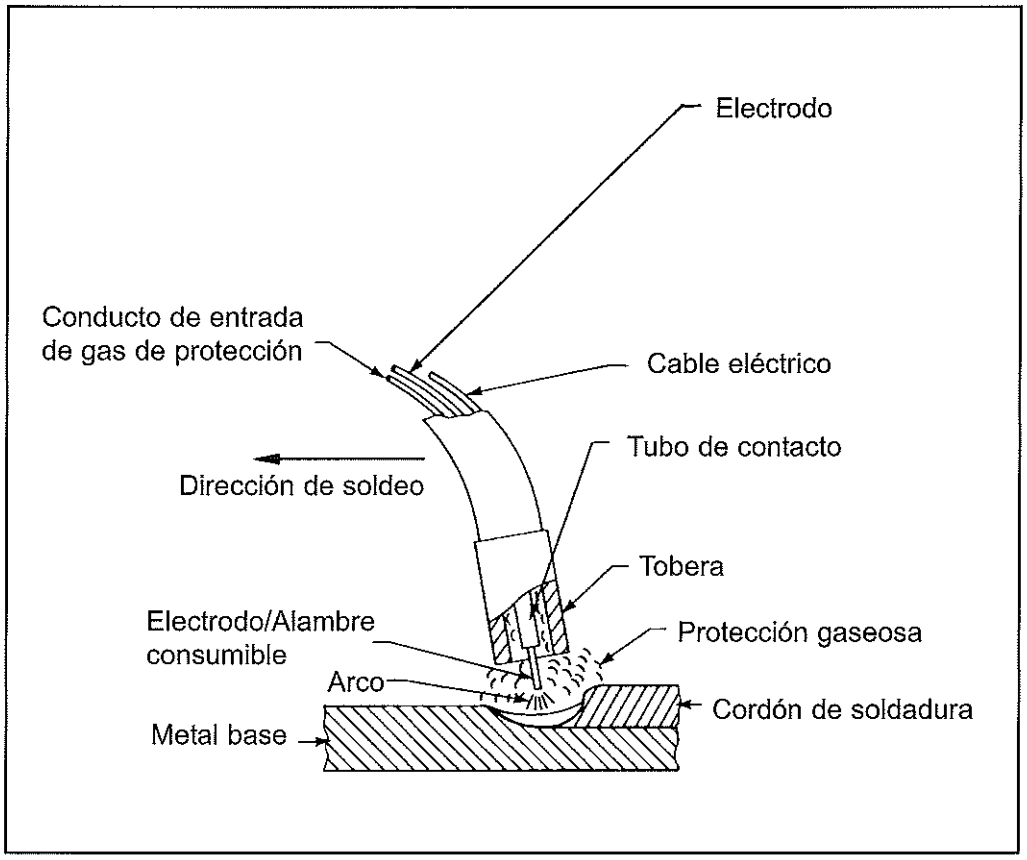


FIGURA 13.1: SOLDEO POR ARCO CON GAS

El proceso de soldeo por arco con gas se denomina también:

- GMAW, gas metal arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 13, Soldeo por arco con gas (UNE-EN ISO 4063).

Si se emplea un gas inerte como protección el proceso se denomina:

- **MIG**, metal inert gas (ANSI/AWS A3.0).
- 131, soldeo por arco con gas inerte (UNE-EN ISO 4063).

Si se utiliza un gas activo como protección el proceso se denomina:

- **MAG**, metal active gas (ANSI/AWS A3.0).
- 135, soldeo por arco con gas activo (UNE-EN ISO 4063).

Ver capítulo 11.2 para identificar los gases activos y los inertes.

Este proceso de soldeo puede ser automático o manual, al proceso manual se le denomina también semiautomático.

13.1.2. Ventajas y limitaciones

Ventajas

- Puede utilizarse para el soldeo de cualquier tipo de material.
- El electrodo es continuo, con lo que se aumenta la productividad por no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con SMAW.
- Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, zona de peligro de imperfecciones.
- No se requiere eliminar la escoria, puesto que no existe.

Limitaciones

- El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.

- Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada.

13.2. Equipo de Soldeo

En la figura 13.2 se puede ver el equipo de soldeo MIG/MAG, que consiste en:

- Fuente de energía.
- Fuente de suministro de gas.
- Sistema de alimentación de alambre.
- Pistola (refrigerada por aire o por agua)
- Sistema de control.
- Carrete de alambre/electrodo (de alambre que actúa como electrodo y como metal de aporte).
- Sistema de regulación para el gas de protección.
- Sistema de circulación de agua de refrigeración para las pistolas refrigeradas por agua.
- Cables y tubos o mangueras.

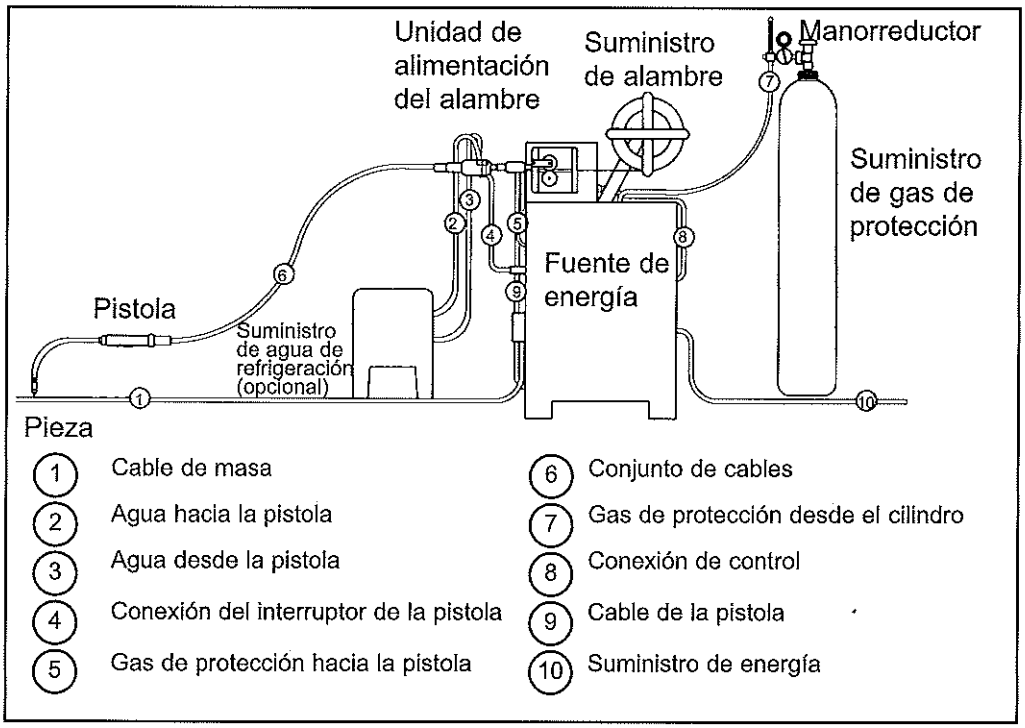

Unidad de alimentación del alambre
Suministro de alambre
Manorreductor
Suministro de gas de protección
Fuente de energía
Pistola
Suministro de agua de refrigeración (opcional)
Pieza
1 Cable de masa
2 Agua hacia la pistola
3 Agua desde la pistola
4 Conexión del interruptor de la pistola
5 Gas de protección hacia la pistola
6 Conjunto de cables
7 Gas de protección desde el cilindro
8 Conexión de control
9 Cable de la pistola
10 Suministro de energía

FIGURA 13.2: EQUIPO PARA EL SOLDEO MIG/MAG

13.2.1. Fuentes de energía

La fuente de energía deberá ser capaz de funcionar a elevadas intensidades, generalmente menores de 500A en el soldeo semiautomático y suministrar corriente continua.

La fuente de energía recomendada es una fuente de **tensión constante,** cuya curva característica sea como la indicada en la figura 13.3. Las fuentes de energía de intensidad constante sólo se podrían utilizar para el soldeo MIG/MAG si se emplea conjuntamente con un alimentador de alambre de velocidad variable y por tanto mucho más complejo.

Una cualidad importante de la curva característica de tensión constante es su pendiente o "slope". La pendiente de una fuente de energía de tensión constante es:

$$\text{PENDIENTE} = \frac{\text{Variación de tensión}}{\text{Variación de intensidad}} = \frac{\Delta V}{\Delta A}$$

$$\text{PENDIENTE} = \frac{\Delta V}{\Delta A} = \frac{38V - 28V}{200A - 100A}$$

$$\text{PENDIENTE} = \frac{10V}{100A} = \frac{1V}{10A'}$$

que significa que por cada variación de la tensión en 1 voltio la intensidad varía en 10 amperios

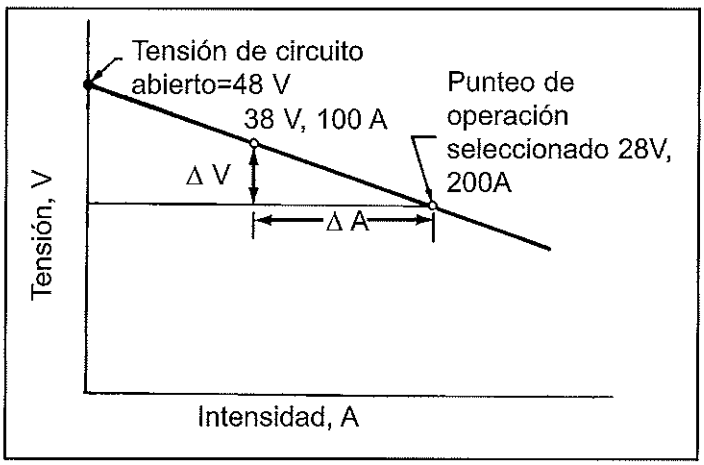


FIGURA 13.3: PENDIENTE O "SLOPE" DE LA CARACTERÍSTICA DE LA FUENTE DE SOLDEO

Para obtener una buena transferencia en "spray" es necesario que la pendiente de la curva sea la adecuada, que dependerá del material a soldar, por esta razón en algunas máquinas se puede ajustar la pendiente en función de la aplicación. En otras máquinas la pendiente es fija, estando programada para las aplicaciones más comunes.

Para variar las condiciones de soldeo se podrá seleccionar la tensión deseada actuando sobre el mando de la máquina. Al variar la posición del mando, se está seleccionando diferentes curvas como indica la figura 13.4.

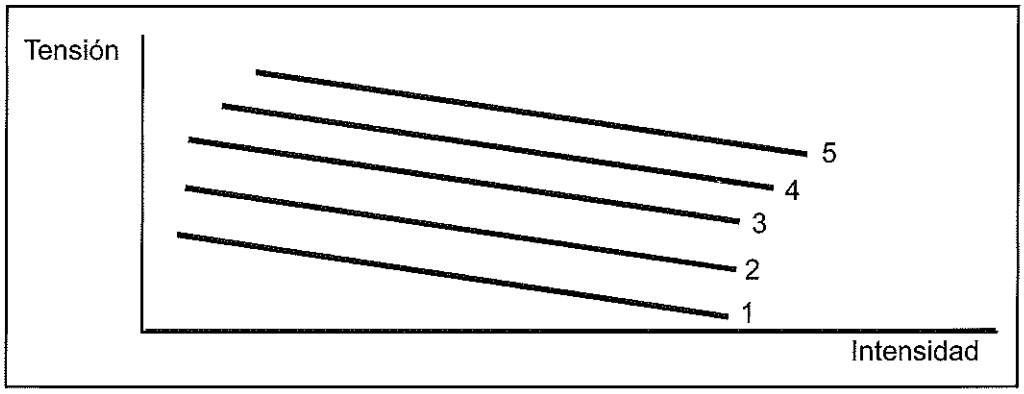


FIGURA 13.4: SELECCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Autorregulación del arco

Al tocar el alambre la pieza, la intensidad de cortocircuito que se origina es muy elevada, por lo cual el extremo del alambre se funde inmediatamente, estableciéndose un arco (cebado instantáneo) cuya longitud es función de la tensión elegida en la fuente de energía. Una vez cebado el arco entra en juego **el fenómeno de autorregulación**, suministrando la fuente la intensidad necesaria para fundir el alambre a medida que éste se suministra, manteniéndose la longitud de arco correspondiente a la regulación del voltaje elegida.

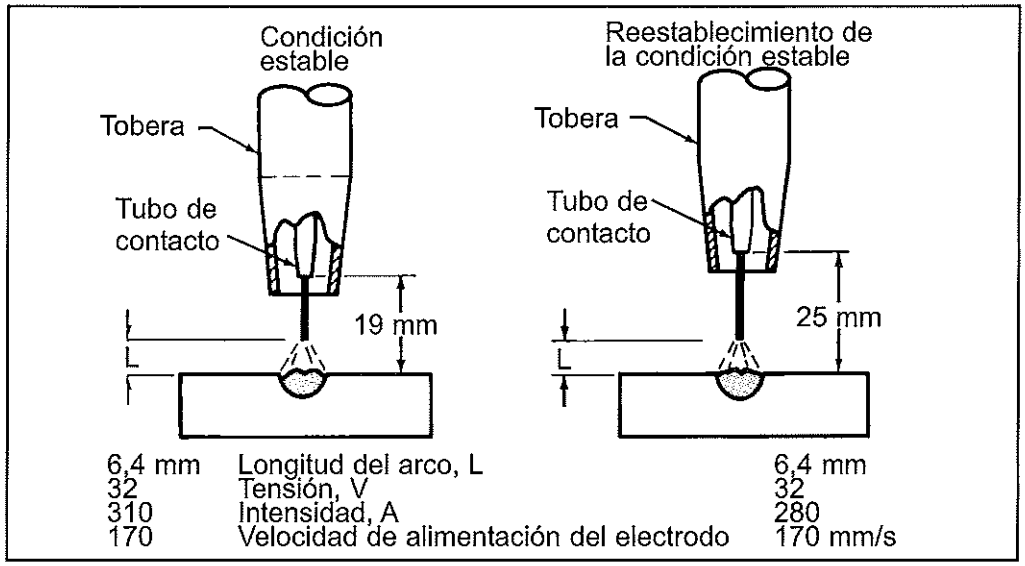


FIGURA 13.5: AUTORREGULACIÓN

Si por una causa cualquiera la distancia entre la extremidad del alambre y la pieza aumenta, la tensión y la longitud del arco aumentarán pero, al mismo tiempo, la intensidad disminuirá por lo que la fusión será más lenta hasta que se restablezca la longitud y voltaje inicial (figura 13.5). Lo contrario ocurre cuando la distancia entre el alambre y la pieza disminuye.

El fenómeno de autorregulación es importante para garantizar la estabilidad del arco, pero otras variables son también importantes.

Composición interna de la fuente de energía

En la figura 13.6 se ha representando de forma esquemática el interior de una máquina de soldeo MIG/MAG, compuesta por:

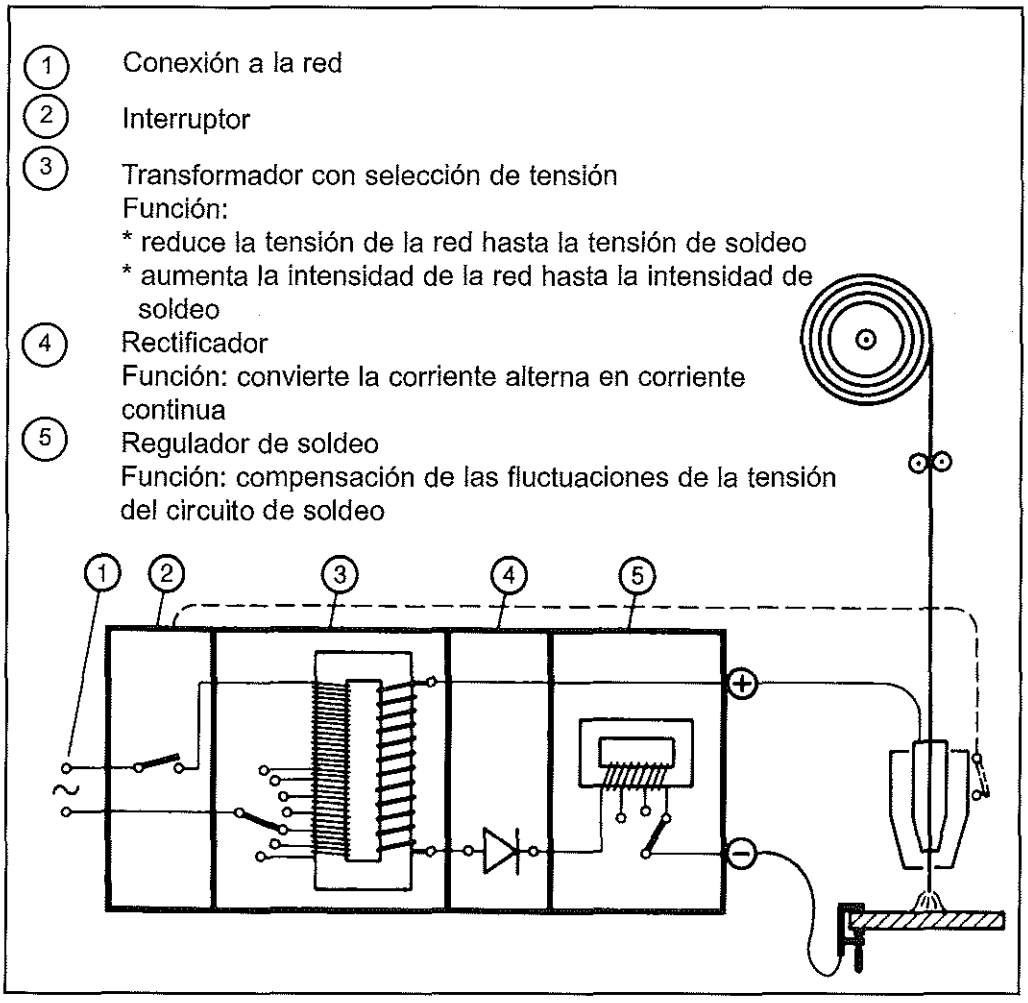

1 Conexión a la red
2 Interruptor
3 Transformador con selección de tensión
Función:
* reduce la tensión de la red hasta la tensión de soldeo
* aumenta la intensidad de la red hasta la intensidad de soldeo
4 Rectificador
Función: convierte la corriente alterna en corriente continua
5 Regulador de soldeo
Función: compensación de las fluctuaciones de la tensión del circuito de soldeo
1
2
3
4
5
+
−

FIGURA 13.6: COMPONENTES DE LA FUENTE DE ENERGÍA

13.2.2. Sistema de alimentación de alambre

La unidad de alimentación de alambre/electrodo es el dispositivo que hace que el alambre pase por el tubo de contacto de la pistola para fundirse en el arco. (Ver figura 13.7).

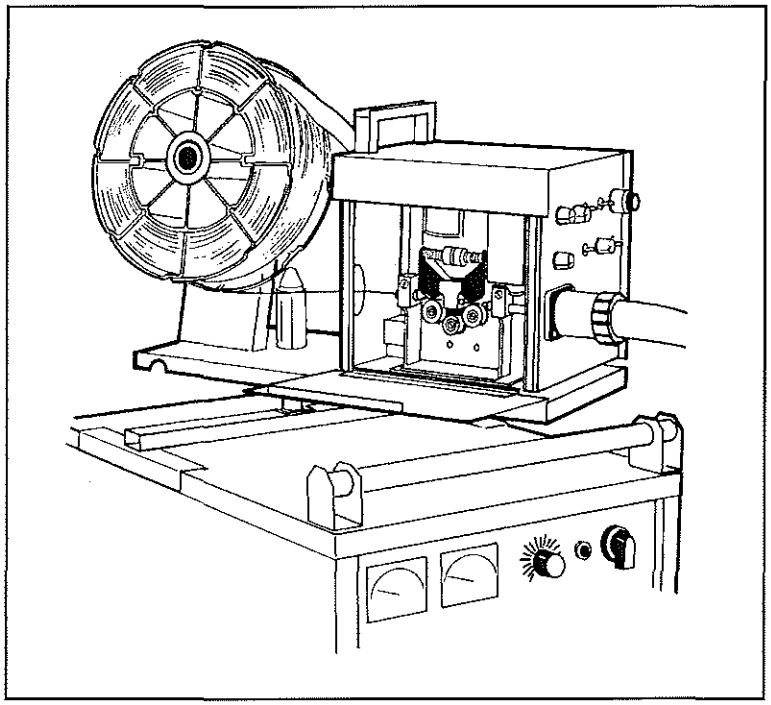


FIGURA 13.7: EJEMPLO DE MECANISMO ALIMENTADOR DEL ALAMBRE

En la figura 13.8 se representa una unidad de alimentación de alambre que consta de:

(1) Bobina de alambre, con el dispositivo para su colocación.

(2) Guía del alambre

(3) Rodillo de arrastre

(4) Rodillo de presión o empujador

(5) Boquilla de salida del alambre

La unidad dispondrá de un sistema para variar la velocidad de avance del alambre, así como de una válvula magnética para el paso del gas.

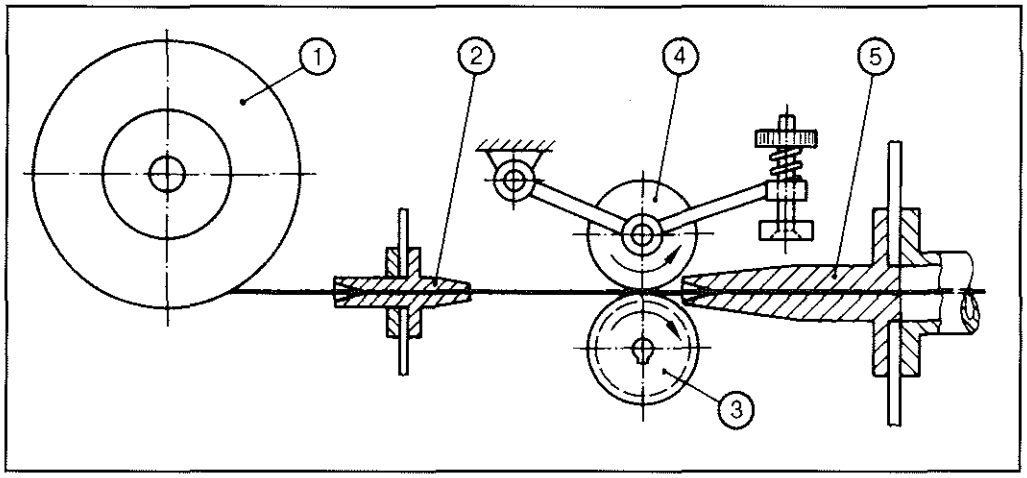


FIGURA 13.8: UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE

El alimentador del alambre va unido al rectificador por un conjunto de cables y tubos.

Algunos alimentadores de alambre poseen sólo una pareja de rodillos (figura 13.8), mientras que otros poseen dos pares de rodillos que pueden tener el mismo motor o ser accionados por dos motores acoplados en serie.

En la figura 13.9 se representa un alimentador de alambre de cuatro rodillos. Sus elementos son:

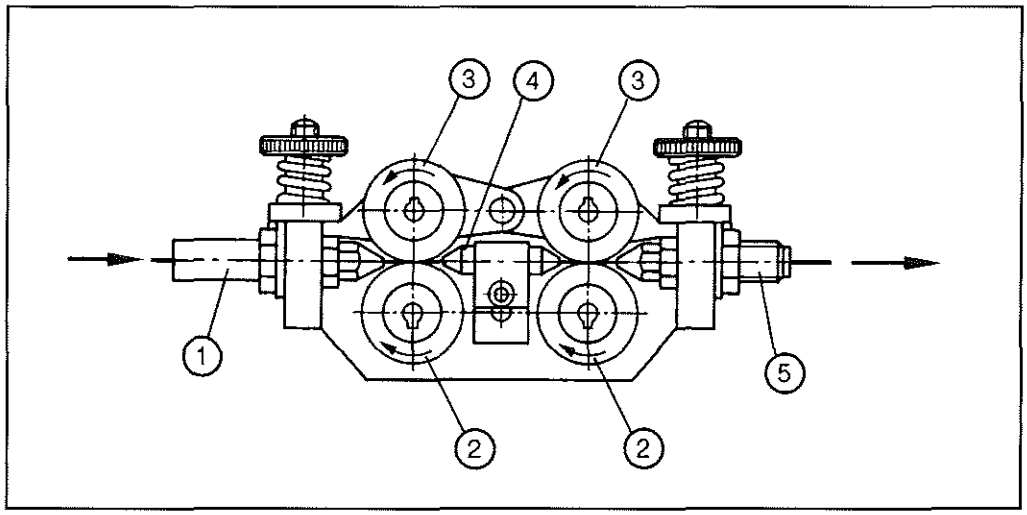


FIGURA 13.9: ALIMENTADOR DE ALAMBRE DE CUATRO RODILLOS

① Boquilla de alimentación del alambre

② Rodillos de arrastre

③ Rodillos de presión o empujadores

④ Guía del alambre

⑤ Boquilla de salida del alambre

Antes de disponer el alambre en la unidad de alimentación es necesario asegurarse de que todo el equipo es el apropiado para el diámetro del alambre seleccionado.

Para ajustar la presión de los rodillos se introduce el alambre hasta la tobera, se aumenta la presión hasta que los rodillos dejen de deslizar y transporten el alambre.

La mayoría de los alimentadores son de **velocidad constante**, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience el soldeo y permanece constante. La alimentación comienza o finaliza accionando un interruptor situado en la pistola. El arrastre del alambre ha de ser constante y sin deslizamientos en los rodillos de arrastre. Por lo general es necesario un sistema de frenado para la bobina de la cual se devana el alambre, para evitar su giro incontrolado. Los sistemas se diseñan de forma que la presión sobre el alambre pueda ser aumentada o disminuida según convenga.

Los sistemas de alimentación pueden ser de varios tipos:

- de empuje (push).
- de arrastre (pull).
- combinados de arrastre–empuje, o "push-pull".

El tipo depende fundamentalmente del tamaño y composición del alambre utilizado y de la distancia entre el carrete de alambre y la pistola.

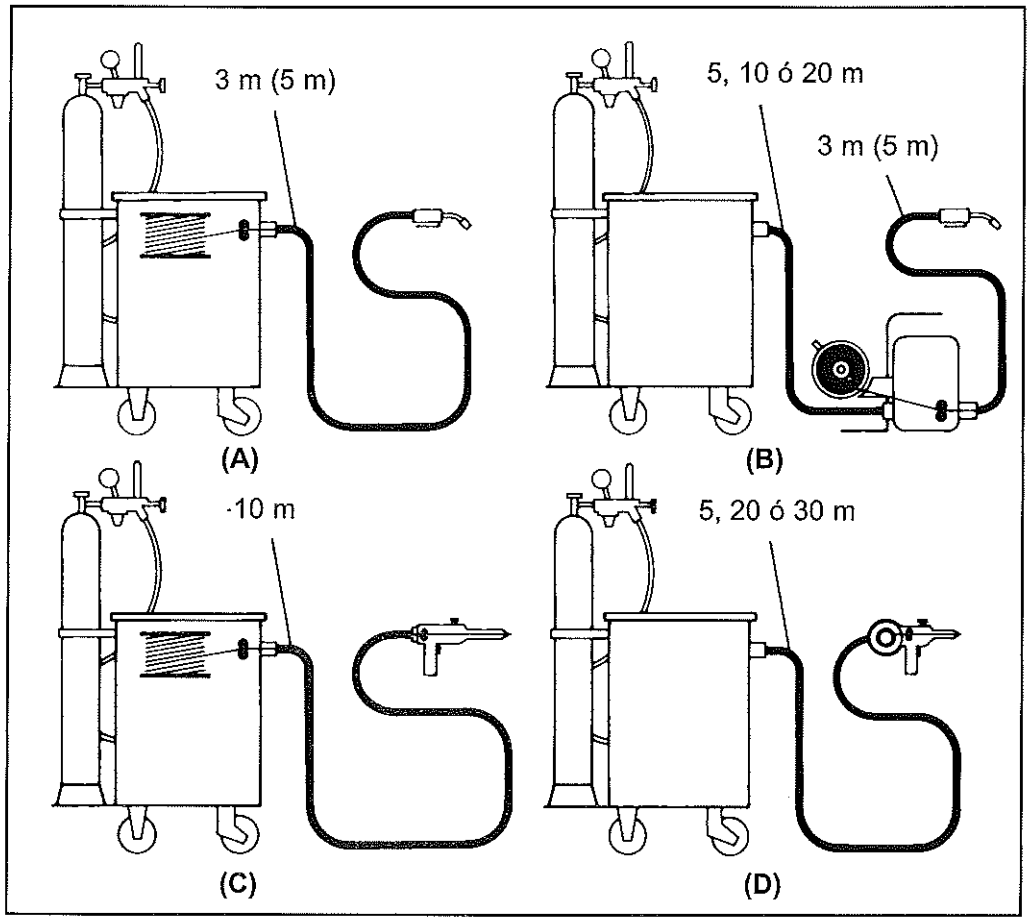
La mayoría de los sistemas son **de empuje** (Figura 13.10 A y B), en los que el alambre es alimentado desde un carrete por medio de unos rodillos y es empujado a través de un conducto flexible al cual está unida la pistola. La longitud del conducto es generalmente de hasta de 3 m, pudiendo ser en algunas ocasiones de hasta 5 m.

Cuando la distancia entre la fuente de energía y la pistola es muy grande puede ser difícil alimentar mediante el sistema de empuje, por lo que se recurre al sistema **de arrastre**. En este sistema **la pistola** está equipada con unos rodillos que tiran, o arrastran, el alambre a través de la funda (o tubo-guía), evitando los atascos que se pueden producir con el sistema de empuje, sin embargo este sistema es más costoso.

Si se combinan ambos sistemas se tiene un sistema de alimentación "**de arrastre y de empuje**". Este sistema se conoce también con el nombre inglés de "push–pull" en el que existen unos rodillos empujando a la salida de la bobina y otros tirando desde la pistola. (Figura 13.10 C).

Conjunto fuente de energía-unidad de alimentación

La unidad de alimentación del alambre puede ser independiente (figura 13.10 B) o estar incluida en la carcasa de la fuente de energía (figura 13.10 A y C), denominadas normalmente máquinas compactas. Otra opción es emplear las pistolas con bobina incorporada [figura 13.10 (D)].



(A): INCLUIDA EN LA CARCASA DE LA FUENTE DE ENERGÍA. MÁQUINA COMPACTA
(B): INDEPENDIENTE
(C): UNIDAD DE ARRASTRE-EMPUJE (PUSH-PULL)
(D): CON BOBINA INCORPORADA EN LA PISTOLA

FIGURA 13.10: UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE

En la figura 13.10 se ha representado un equipo de soldeo.

A. Con la unidad de alimentación de alambre en la carcasa de la máquina. El alimentador de alambre es de empuje por lo que la separación máxima de la pistola está limitada a 3 m ó 5 m en casos extremos.

B. Con unidad de alimentación de alambre independiente. El alimentador de alambre es también de empuje por lo que queda limitada la separación con la pistola a 3 m ó 5 m; sin embargo, la unidad de alimentación de alambre se podrá separar de la fuente de energía 5, 10 ó 20 m.

C. Con alimentador de alambre de empuje en la carcasa de la máquina y de arrastre en la pistola. La separación entre el alimentador y la pistola podrá ser de hasta 10 m.

D. Con bobina incorporada en la pistola. Se podrá realizar el soldeo a gran distancia respecto a la fuente de energía (10, 20 ó 30 m).

Rodillos

Los rodillos utilizados en MIG/MAG son normalmente como los de la figura 13.11, uno es plano y el otro es con bisel. El bisel es en forma de V para materiales duros como el acero al carbono o acero inoxidable, siendo en forma de U para materiales blandos como el aluminio. También pueden tener los dos bisel o ser moleteados, no recomendándose estos últimos para el aluminio. También es imprescindible seleccionar el rodillo de acuerdo con el diámetro del alambre.

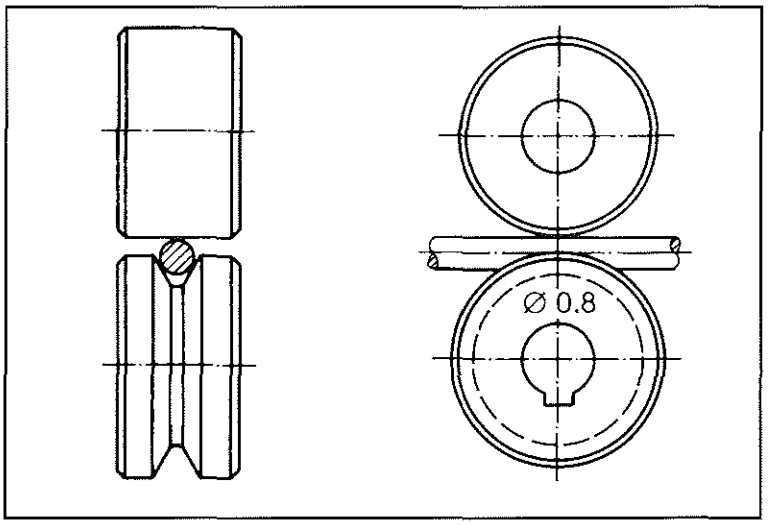


FIGURA 13.11: RODILLOS PARA EL SOLDEO MIG/MAG

13.2.3. Pistola

Las pistolas para el soldeo por arco con protección de gas son relativamente complejas. En primer lugar es necesario que el alambre se mueva a través de la pistola a una velocidad predeterminada y, en segundo lugar, la pistola debe estar diseñada para transmitir corriente al alambre y dirigir el gas de protección. El método de refrigeración (agua o aire) y la localización de los controles de alimentación del alambre y gases de protección, añaden complejidad al diseño de las pistolas.

Los principales componentes, que se pueden ver en la figura 13.12, son:

- **Tubo de contacto**, guía al electrodo a través de la tobera y hace el contacto eléctrico para suministrar corriente al alambre, está conectado a la fuente de energía a través de los cables eléctricos. La posición del tubo de contacto respecto al final de la tobera puede variar en función del modo de transferencia, con transferencia en cortocircuito se situará a unos 2 mm de ésta o incluso por fuera, mientras que en transferencia en "spray" se situará a unos 5 mm. (ver figura apartado 13.9). El tubo de contacto se reemplazará si el taladro se ha ensanchado por desgaste o si se ha atascado por proyecciones. Normalmente es de cobre o alguna aleación de cobre, el libro de instrucciones de la pistola indicará el tamaño y tipo adecuado en función del diámetro y material del electrodo a utilizar.
- **Tobera** (normalmente de cobre), que tiene un diámetro interior que oscila entre 9,5 y 22,25 mm (3/8 a 7/8 de pulgada) dependiendo del tamaño de la pistola.
- **Tubo-guía o funda del alambre/electrodo**; a través del cual el electrodo llega procedente, normalmente, de una bobina. Es muy importante el diámetro y material del tubo-guía del electrodo, se utilizarán de acero en forma de espiral en el caso de materiales como el acero o el cobre y serán de teflón o nylon para el magnesio o el aluminio, también para el acero inoxidable con el fin de no contaminar el electrodo.
- **Conducto de gas.**
- **Cables eléctricos.**
- **Interruptor**. La mayoría de las pistolas de manipulación manual tienen un gatillo que actúa como interruptor para comenzar o detener la alimentación del alambre.
- **Conductos para el agua de refrigeración**. (Sólo para las pistolas refrigeradas por agua). Estas pistolas pueden utilizarse con intensidades de hasta 600A.

La pistola puede ser de cuello curvado (cuello de cisne con un ángulo de 40º a 60º) o rectas; las de cuello de cisne suelen ser más flexibles y cómodas.

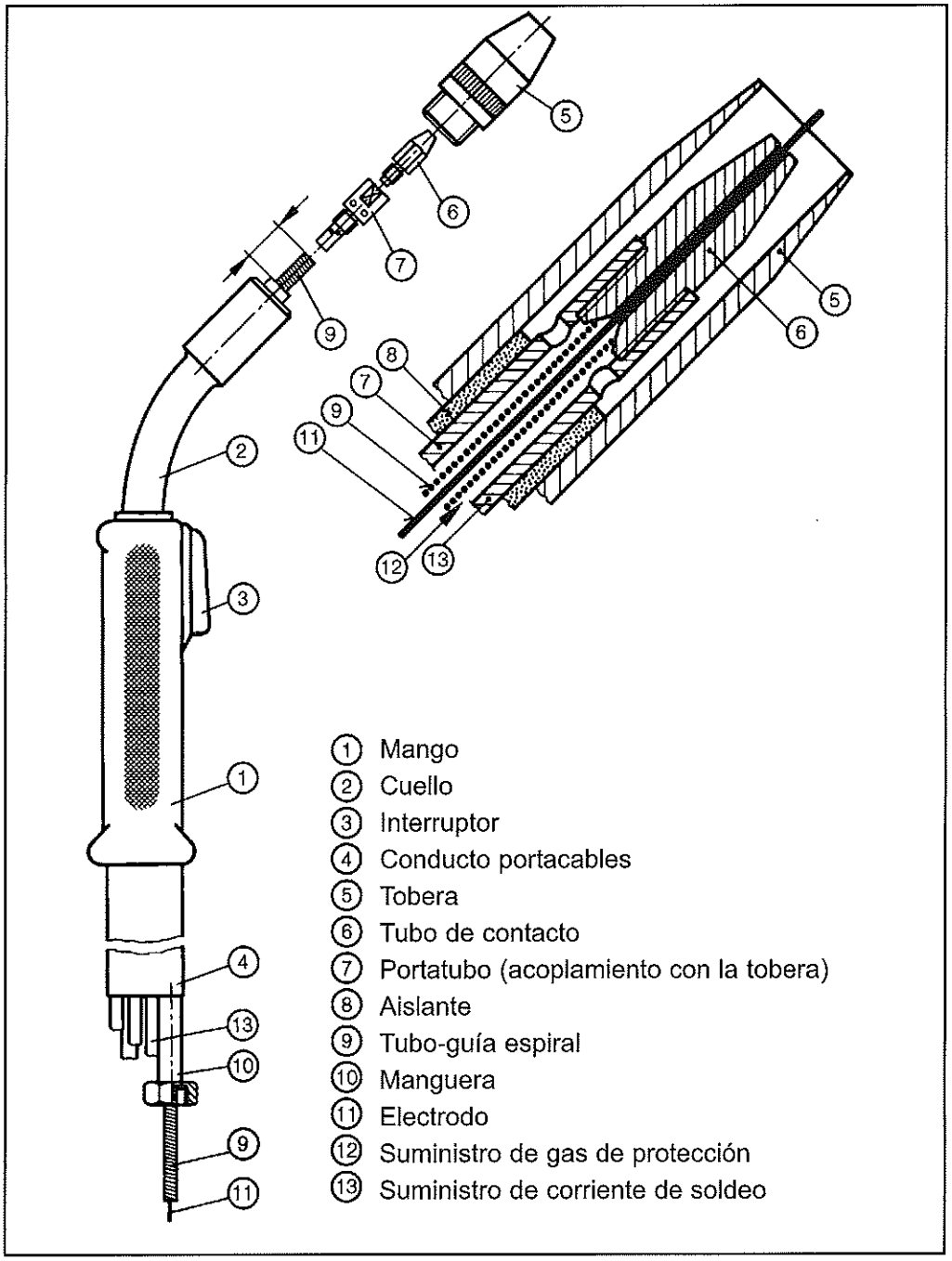


FIGURA 13.12: PISTOLA PARA SOLDEO MIG/MAG (ACERO AL CARBONO)

13.2.4. Alimentación de gas protector y de agua de refrigeración

Gas

La alimentación de gas se hace desde la botella de gas que tiene en su salida un caudalímetro para poder graduar el caudal de gas de protección necesario en cada caso particular. El suministro de gas se puede realizar también desde una batería de botellas o desde un depósito.

Agua

Cuando se suelda con intensidades elevadas es preciso utilizar pistolas refrigeradas por agua, ya que la refrigeración de la pistola por el propio gas de protección sería insuficiente, para evitar que se produzcan daños o la inutilización de la pistola.

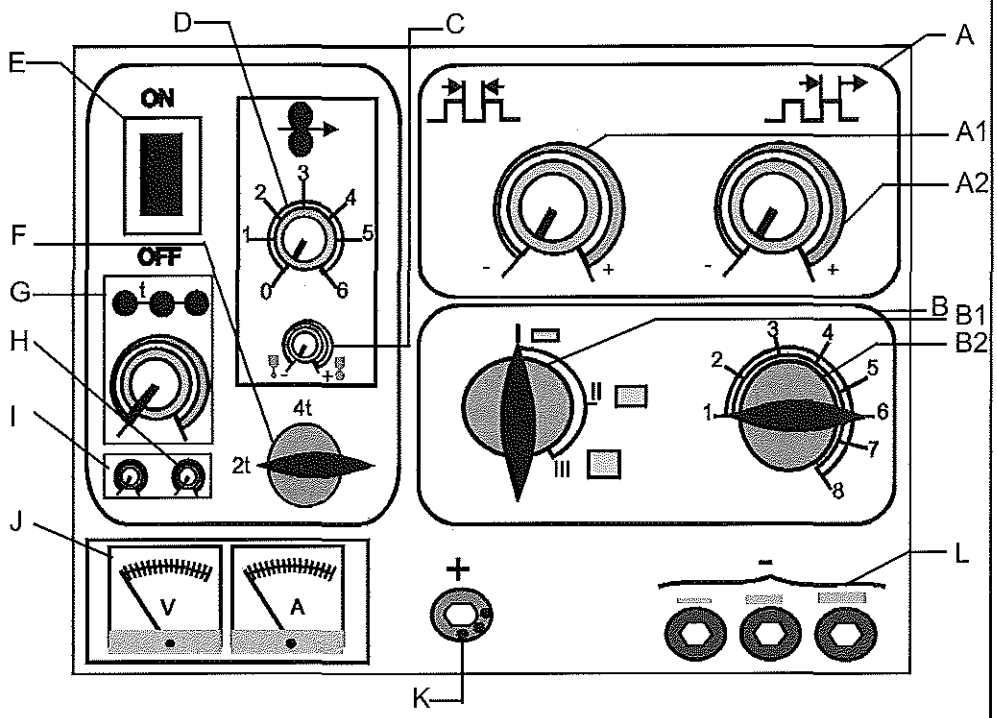
La alimentación de agua para tal refrigeración puede hacerse desde un simple grifo dispuesto cerca de la máquina de soldeo, o con un sistema de circuito cerrado.

Sea cual sea el sistema, es necesario un conducto de alimentación de agua que refrigere la pistola y otro de retorno, según el sistema adoptado. Como ocurría con el gas, existe una electroválvula para que el agua circule solamente en los momentos en que se está soldando. Los conductos de agua también son flexibles y como los de gas forman parte del conjunto de la pistola.

13.2.5. Panel de control

En la figura 13.13 se representa el panel de control de una máquina MIG/MAG compacta.

Las máquinas **sinérgicas** poseen un control interno que armoniza automáticamente todos los parámetros. El mando de control facilita al soldador el empleo de los programas, de forma que prefijando el tipo de alambre y el gas de protección selecciona automáticamente la intensidad y velocidad de alimentación del alambre correctas.



A Arco pulsado

A1 Selección del tiempo de la corriente de fondo
A2 Selección del tiempo de la corriente de pico

B Selección de la tensión

B1 Selector de escala
B2 Selector de tensión

C Tiempo de postquemado ("burn back"). Se retrasa el corte de la corriente de soldeo durante un cierto tiempo de forma que el alambre "se quema" libremente formando una pequeña esfera que deberá ser lo más pequeña posible, por lo que el tiempo de postquemado debe ser el mínimo posible. De esta forma se evita que el alambre fundido llegue a tocar el tubo de contacto estropeándolo.

D Selección de la velocidad de alimentación del alambre

E Interruptor general.

F Control de tipo de ciclo

- 2t = 2 tiempos

FIGURA 13.13: PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA COMPACTA

*Tiempo 1: Apretar interruptor de la pistola y mantener. Se pone en funcionamiento: gas de protección + alimentador del alambre + corriente.
* Tiempo 2: Soltar el interruptor de la pistola. Deja de estar en funcionamiento: gas de protección + alimentación del alambre + corriente.

Se puede utilizar en el soldeo de estructuras pero no se recomienda cuando el nivel de calidad requerido sea elevado.

- 4t = 4 tiempos

* Tiempo 1: Apretar interruptor de la pistola. Se pone en funcionamiento el gas de protección.
* Tiempo 2: Soltar el interruptor de la pistola. Continua saliendo el gas de protección y se pone en funcionamiento la alimentación del alambre y la corriente.
* Tiempo 3: Apretar interruptor de la pistola. Deja de estar en funcionamiento la corriente y la alimentación del alambre.
* Tiempo 4: Soltar el interruptor de la pistola. Deja de salir el gas de protección.

Alto nivel de calidad gracias a la existencia de gas de protección previo y posterior al soldeo. El gas de protección previo al soldeo desplaza el aire que rodea a la zona a soldar y mejora la protección posterior, el gas de protección posterior protege el metal de soldadura mientras se enfría.

G Soldeo por puntos

H Movimiento lento del alambre. El alambre se alimenta a baja velocidad hasta que se establece el arco.

I Llenado de cráter. Se reduce la tensión y la intensidad de soldeo al final de la soldadura.

J Amperímetro y voltímetro.

K Polo positivo (+) de la máquina, se conecta a la pistola.

L El polo negativo (-) puede tener varias tomas para introducir diferentes inductancias al circuito. La inductancia puede también estar regulada de forma continua con un potenciómetro. El cable de la pieza se suele conectar al negativo (-). La introducción de una cierta inductancia consigue un funcionamiento del arco de forma más suave y con menos proyecciones. La selección depende del diámetro del electrodo, normalmente a mayor diámetro mayor inductancia. La selección de la inductancia es útil sobre todo en transferencia cortocircuito.

FIGURA 13.13 (CONTINUACIÓN): PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA COMPACTA

13.3. Modos de Transferencia

La transferencia de metal en el arco puede realizarse básicamente de cuatro formas: (Ver figura 13.14).

- En cortocircuitos: el metal se transfiere del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura
- Transferencia globular: En forma de grandes gotas de tamaño mayor que el alambre/electrodo que caen al baño de fusión por su propio peso.
- Transferencia en spray: Se desprenden pequeñas gotas del alambre y se desplazan a través del arco hasta llegar a la pieza.
- Transferencia por arco pulsado: es un modo de transferencia tipo spray que se produce en impulsos regularmente espaciados, en lugar de suceder al azar como ocurre en el arco-spray

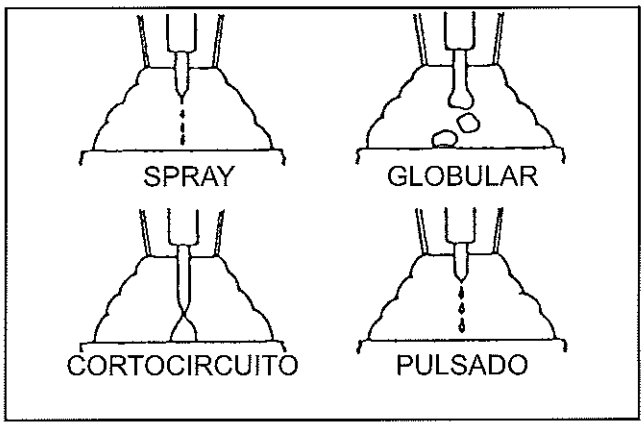


FIGURA 13.14: MODOS DE TRANSFERENCIA

El tipo de transferencia depende del gas de protección y de la intensidad y tensión de soldeo.

La **transferencia por cortocircuito** se produce por contacto del alambre con el metal depositado (Figura 13.15). Se obtiene este tipo de transferencia cuando la intensidad y la tensión de soldeo son bajas. Se utiliza este tipo de transferencia para el soldeo en posición vertical, bajo techo, H-L045 y para el soldeo de espesores delgados o cuando la separación en la raíz es excesiva. Parámetros típicos: Voltaje 16 a 22 V; Intensidad 50 a 150 A. Se reconoce porque el arco es corto, suele haber proyecciones y hay un zumbido característico.

Se obtiene este tipo de transferencia más fácilmente con dióxido de carbono.

La **transferencia globular** se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del alambre (Figura 13.16). La gota se va formando hasta que cae al baño fundido por su propio peso. Este tipo de transferencia no suele tener aplicaciones tecnológicas por la dificultad de

controlar adecuadamente el metal de aportación y porque suele provocar faltas de penetración y sobreespesores elevados. Parámetros típicos: Voltaje de 20 a 35 V; intensidad 70 a 255 A.

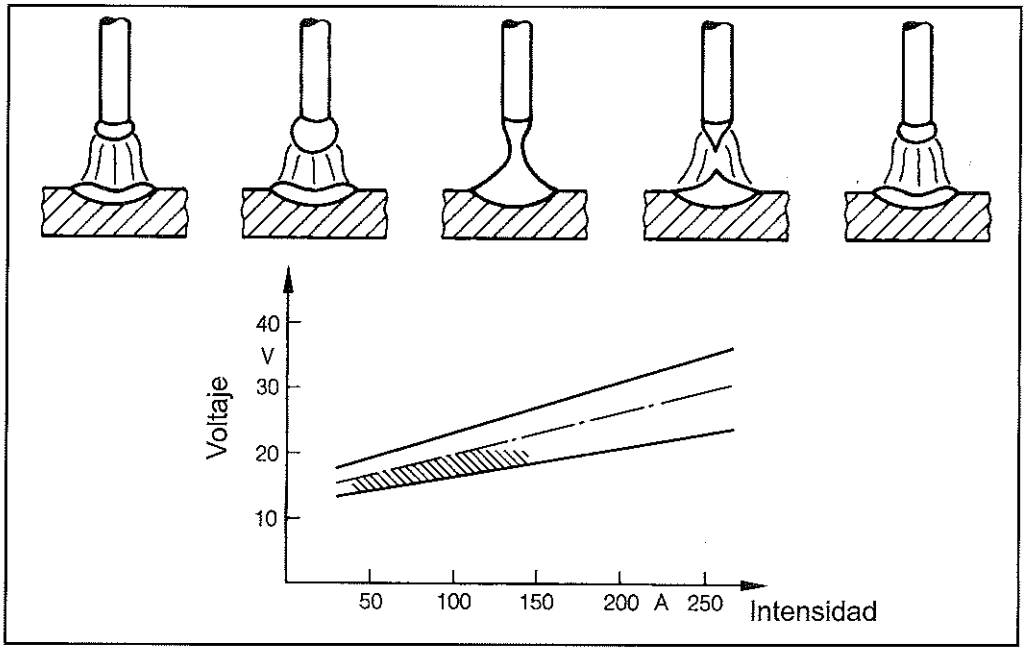


FIGURA 13.15: CICLO DE TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO

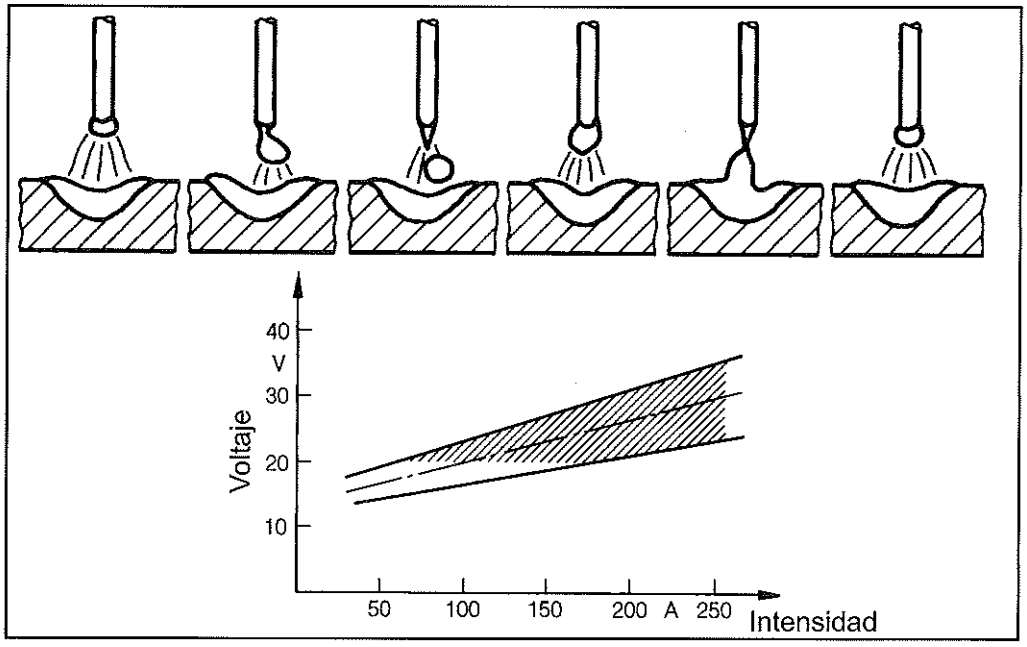


FIGURA 13.16: TRANSFERENCIA GLOBULAR

En la **transferencia por arco–spray** las gotas son iguales o menores que el diámetro de alambre y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas (corriente centrada con respecto al alambre). Se obtiene este tipo de transferencia con altas intensidades y altos voltajes. Intensidades 150 a 500A y voltajes de 24 a 40 V. Los gases inertes favorecen este tipo de transferencia. (Ver figura 13.17)

La transferencia en spray se puede aplicar para cualquier material base pero no se puede utilizar en espesores muy finos porque la corriente de soldeo es muy alta. Se consiguen grandes tasas de deposición y rentabilidad.

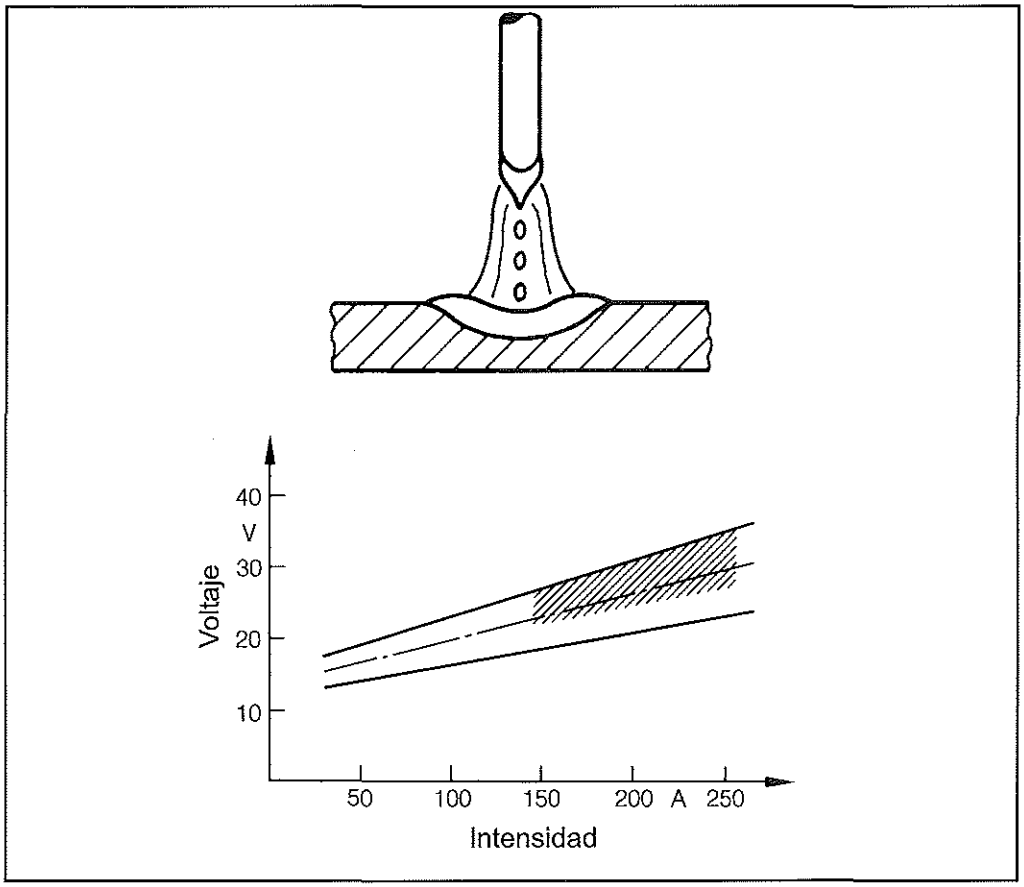


FIGURA 13.17: TRANSFERENCIA POR ARCO SPRAY

La **transferencia por arco pulsado** es una modalidad del tipo spray, que se produce por pulsos a intervalos regularmente espaciados, en lugar de suceder al azar como ocurre en el arco–spray. Este tipo de transferencia se obtiene cuando se utiliza una corriente pulsada, que es la composición de una corriente de baja intensidad, que existe en todo momento (es constante) y se denomina **corriente de**

fondo o de base, y un conjunto de pulsos de intensidad elevada denominada **corriente de pico**. (Ver figura 13.18). La intensidad de fondo sirve para precalentar y acondicionar el alambre que va avanzando continuamente. La gota saltará cuando se aplique una corriente de pico.

La ventaja fundamental de este método es la importante **reducción de calor aplicado** que se produce con respecto al método arco–spray, lo cual se traduce en la posibilidad de soldar en spray secciones menores, obtener menores deformaciones y soldar en todas la posiciones, además se pueden utilizar diámetros de alambre mayores y se reducen las proyecciones.

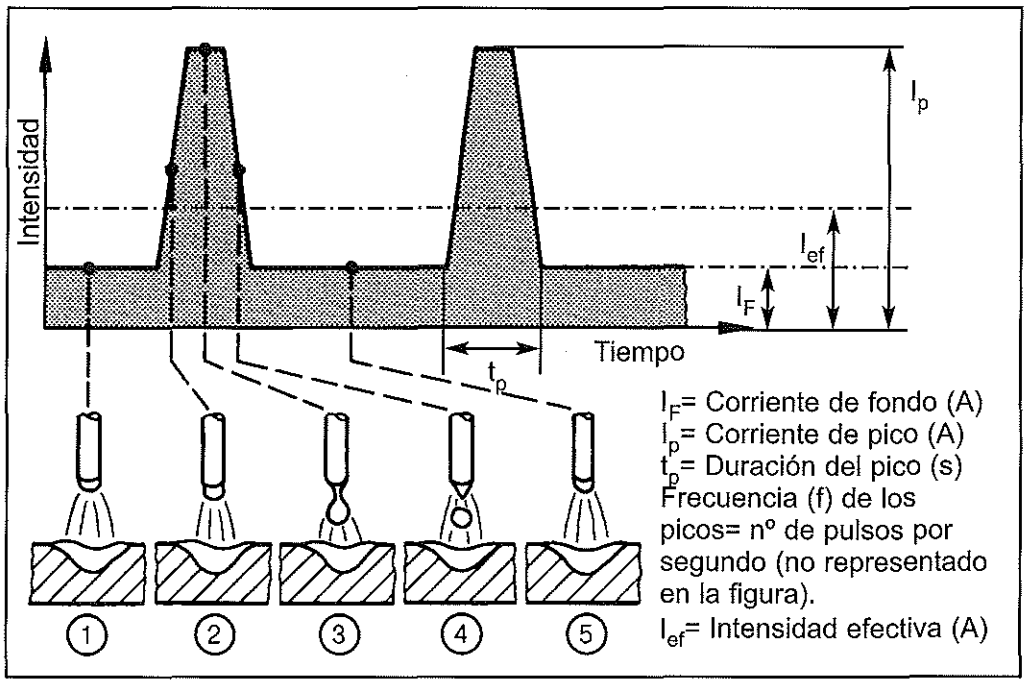


FIGURA 13.18: FORMA DE LA CORRIENTE DE SOLDEO EN LA TRANSFERENCIA POR ARCO PULSADO

Las mayores desventajas de las fuentes de energía de corriente pulsada son: el coste elevado del equipo, dificultad de establecer los parámetros adecuados de soldeo debido al gran número de datos que hay que introducir y que sólo se puede utilizar mezclas con bajo contenido en CO_2 (18% máximo).

En algunas fuentes de energía la corriente de fondo, la de pico y la duración del pulso están permanentemente establecidas, sólo se puede cambiar la frecuencia de los pulsos. De forma que a mayor frecuencia (mayor nº de pulsos por segundo) mayor es la intensidad efectiva y la tasa de deposición.

Actualmente las fuentes de soldeo para corriente pulsada son de tipo sinérgico, lo que significa que el soldador solo tiene que ajustar la velocidad de avance del alambre y los datos sobre el material de aportación, el gas de protección y el diámetro del electrodo. A partir de estos datos la fuente de corriente ajusta automáticamente los parámetros de soldeo idóneos.

13.4. Materiales de Aportación

Los electrodos/alambres empleados son de **pequeños diámetros** (0,6; 0,8; 0,9; 1,1; 1,6; 2,0; 3,0 y 3,2 mm) y se suministran en **bobinas** para colocar directamente en los sistemas de alimentación. Para conseguir una alimentación suave y uniforme el alambre debe estar bobinado en capas perfectamente planas y es necesario que no esté tirante durante su suministro, sino que exista una cierta holgura entre la bobina y la vuelta que se está desenroscando. Al ser los alambres de pequeño diámetro y la intensidad de soldeo bastante elevada, la velocidad de alimentación del electrodo suele ser elevada, 40-340 mm/s (2,4 - 20,4 m/min) para la mayoría de los metales y de hasta 600 mm/s (236 m/min) para las aleaciones de magnesio.

Dados sus pequeños diámetros la relación **superficie/volumen** es muy alta, por lo que pequeñas partículas de polvo, suciedad, grasa, etc. pueden suponer una importante cantidad en relación con el volumen aportado, de aquí que sea de gran importancia la **limpieza**.

Los alambres de **acero** reciben a menudo un ligero **recubrimiento de cobre** que **mejora** el contacto eléctrico, la resistencia a la corrosión y disminuye el rozamiento con los distintos elementos del sistema de alimentación y la pistola.

El material de aportación es, en general, similar en composición química a la del metal base, variándose ligeramente para compensar las pérdidas producidas de los diferentes elementos durante el soldeo, o mejorar alguna característica del metal de aportación. En otras ocasiones se requieren cambios apreciables o incluso la utilización de alambres de composición completamente diferente.

Cuando se varía el diámetro del alambre utilizado se debe cambiar el tubo-guía, el tubo de contacto y ajustar los rodillos, o cambiarlos en caso de que no fueran adecuados para ese diámetro del alambre.

13.5. Gases de Protección

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos otros factores afectan a la elección del gas de protección. Algunos de estos son: material a soldar, modo de

transferencia de metal de aportación deseado, penetración y forma del cordón, velocidad de soldeo y precio del gas.

Los gases utilizados en el soldeo MIG/MAG son:

- CO_2
- Argón, helio o argón +helio
- Argón +CO_2 o helio+CO_2
- Argón + oxígeno (1-10% de oxígeno, siendo muy utilizada la mezcla con 5% de oxígeno)
- Argón + oxígeno +CO_2
- Argón + helio + CO_2
- Argón + helio + CO_2 + oxígeno

El soldeo se denominará MAG cuando se utilicen gases activos y MIG cuando se utilicen los inertes.

En el capítulo 11 se han indicado las características de los gases de protección y el efecto de la adición de determinados gases.

En general, se utilizan los gases inertes para el soldeo de los materiales no férreos, utilizándose el CO_2 puro solamente con los aceros al carbono; las mezclas de argón + CO_2 y argón + oxígeno se aplican también al soldeo de aceros y en muchos casos para aceros inoxidables.

Cuando sólo se utiliza CO_2 no se puede obtener una transferencia en spray.

Una de las mezclas más utilizadas en el soldeo MAG es argón + 8-10% de CO_2, utilizándose generalmente con transferencia spray. Las mezclas argón + CO_2 , con un porcentaje de este último mayor o igual al 25%, se utilizan para transferencia en cortocircuito en el soldeo de aceros al carbono y de baja aleación. Con arco pulsado se utilizan mezclas de argón y dióxido de carbono (generalmente con un 5% de CO_2), o mezclas de argón, helio y CO_2 .

Con un caudal de gas muy bajo la cantidad de gas de protección es insuficiente. Con un caudal de gas muy alto puede haber turbulencias y formación de remolinos en el gas. El caudal de gas dependerá en gran medida del tipo de material base. Para obtener un buena protección el ángulo de trabajo no debe ser mayor de 10 a 20 °. El tubo de contacto debe estar centrado en la boquilla y las proyecciones depositadas en la tobera de gas y en la boquilla de contacto deben retirarse regularmente.

13.6. Parámetros de Soldeo

Los parámetros fundamentales que entran a formar parte de las características del soldeo, y por tanto de la calidad de la soldadura, son:

- Tensión.
- Velocidad de alimentación del alambre.
- Longitud visible del alambre o "extensión".
- Velocidad de desplazamiento.
- Polaridad.
- Ángulo de inclinación de la pistola.
- Gas de protección.

El conocimiento y control de estos parámetros es esencial para obtener soldaduras de calidad. Estas variables no son independientes ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

13.6.1. Relación entre los parámetros

La tensión se mide en voltios y es regulable en la fuente de energía, o bien a distancia desde la unidad alimentadora de alambre. Se transmite de forma regular desde la fuente al alambre, sin embargo se distribuye entre la prolongación del alambre y el arco de un modo desigual. Aproximadamente el 90% de la energía se concentra en el arco y el 10% restante en el alambre (ver figura 13.19). Por tanto ***cuanto mayor sea la longitud del arco mayor será la tensión***.

La intensidad, sin embargo, está muy relacionada con la velocidad de alimentación del alambre; de forma que ***cuanto mayor es la velocidad de alimentación mayor es la intensidad***. La tasa de deposición también está muy relacionada con la intensidad, cuanto mayor es la intensidad más rápidamente se producirá la fusión y, por tanto, la deposición. Se pueden establecer las siguientes equivalencias:

	Equivalente a:
Intensidad	Velocidad de alimentación del alambre Velocidad de fusión
Tensión	Longitud del arco

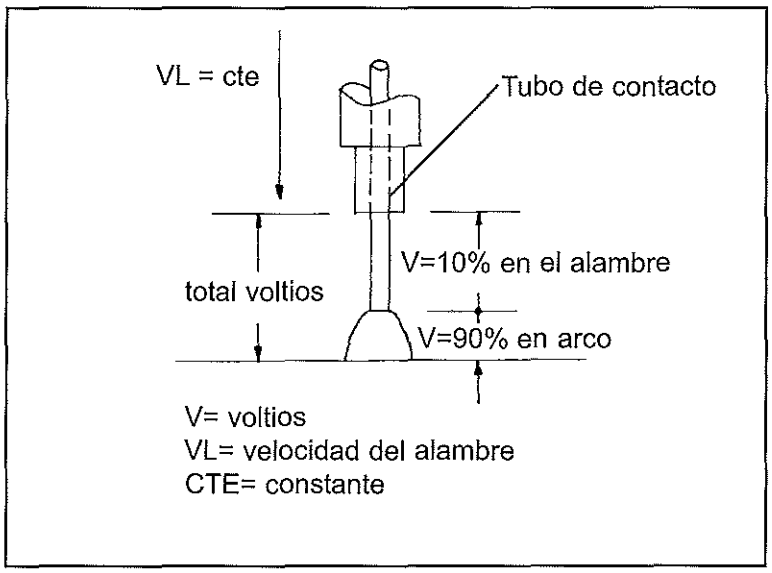


FIGURA 13.19: DISTRIBUCIÓN DE LA TENSIÓN EN EL ARCO ELÉCTRICO. RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD DEL ARCO Y LA TENSIÓN

13.6.2. Extremo libre del alambre/electrodo

El extremo libre del alambre es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del alambre y está relacionada con la distancia entre el tubo de contacto y la pieza a soldar. Esta variable tiene suma importancia para el soldeo y en especial para la protección del baño de fusión.

Cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración se hace más débil y aumenta la cantidad de proyecciones, éstas pueden interferir con la salida del gas de protección y una protección insuficiente puede provocar porosidad y contaminación excesiva.

La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 6 a 13 mm para transferencia por cortocircuito y de 13 a 25 mm para otros tipos de transferencia. Disminuyendo la longitud en transferencia por cortocircuito, aunque la tensión suministrada por la fuente sea baja, se consigue buena penetración.

En la figura 13.20 se ha representado la influencia de la variación de la distancia entre el tubo de contacto y la pieza.

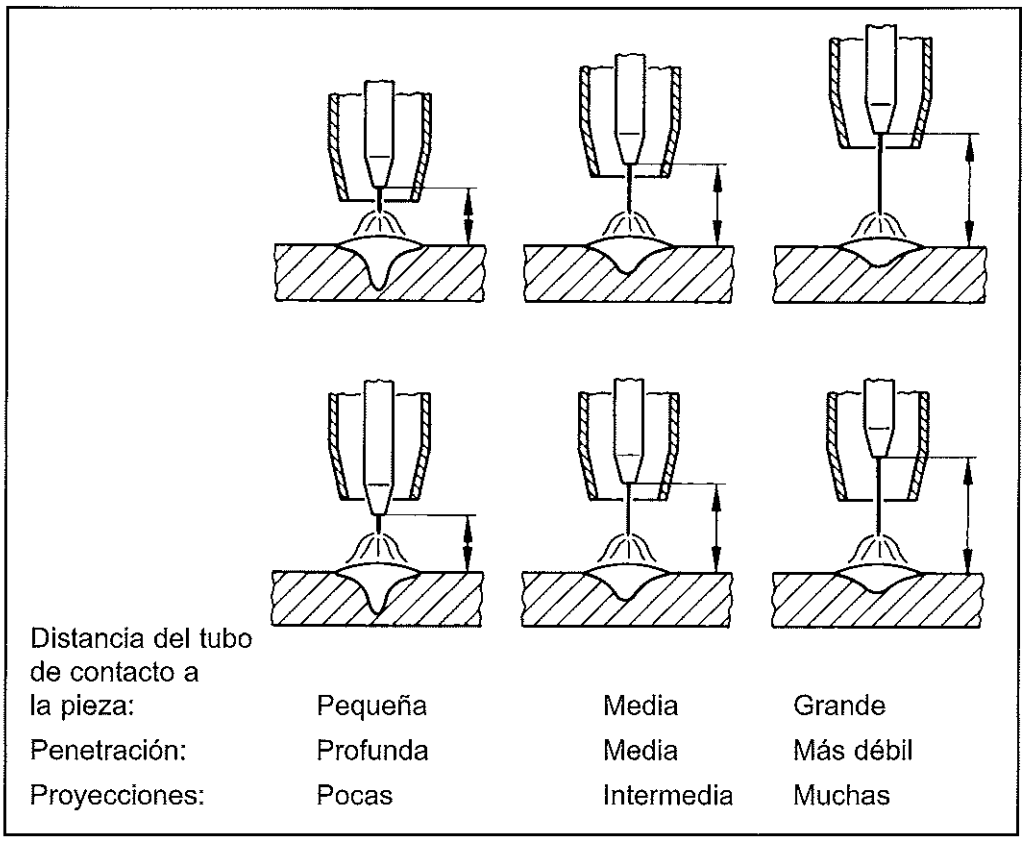


FIGURA 13.20: EFECTO DEL EXTREMO LIBRE DEL ALAMBRE MANTENIENDO CONSTANTES LA TENSIÓN Y LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE

13.6.3. Velocidad de desplazamiento

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será la penetración, sin embargo, una pistola se puede sobrecalentar si se suelda con intensidad alta y baja velocidad de soldeo. Una velocidad de soldeo alta produciría una soldadura muy irregular.

3.6.4. Polaridad

Para la mayoría de las aplicaciones del soldeo GMAW se utilizan la polaridad inversa (CCEP) ya que se obtiene un arco estable, con una buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración.

La polaridad directa (CCEN) casi no se utiliza porque aunque la tasa de deposición es mayor generalmente sólo se consigue transferencia globular.

La corriente alterna no se utiliza en el soldeo MIG/MAG ya que el arco se hace inestable y tiende a extinguirse.

13.6.5. Ángulo de inclinación de la pistola (Ángulo de desplazamiento)

Cuando se utiliza la técnica de soldeo hacia adelante disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano, por lo que se recomienda para el soldeo de pequeños espesores; la máxima penetración se obtiene con el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 25º. Para la mayoría de las aplicaciones se utiliza el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 5-15º; en el soldeo del aluminio, sin embargo, se suele preferir el soldeo hacia adelante pues se mejora la acción limpiadora. Para el soldeo en ángulo (posición PB) se recomienda un ángulo de trabajo de 45º.

13.7. Técnicas Especiales

13.7.1. Soldeo por puntos

Se pueden realizar soldaduras en forma de puntos discontinuos mediante soldeo MIG/MAG, similares a los obtenidos mediante soldeo por resistencia. (Ver figura 13.21). El soldeo por puntos mediante MIG/MAG solo requiere tener acceso a una de las piezas que se van a unir, lo cual representa una ventaja respecto al soldeo por puntos por resistencia (ver capítulo 16).

El soldeo por puntos mediante MIG/MAG tiene aplicación en la unión de chapas finas (en general hasta 5 mm) de acero, aluminio, acero inoxidable y algunas aleaciones de cobre.

Para el soldeo por puntos se requieren algunas modificaciones del equipo de soldeo MIG/MAG convencional. Se requieren:

- Toberas especiales, con huecos que permitan que el gas de protección salga de la tobera cuando ésta se presiona sobre la chapa a soldar.

- Controladores de la velocidad de alimentación del alambre para regular el tiempo de soldeo y asegurar el llenado del cráter, mediante la disminución progresiva de la corriente al final del soldeo.

Para realizar un punto de soldadura se sitúa la pistola sobre la pieza, con la tobera presionando la pieza de menor espesor, en el caso de que sean de espesores diferentes, y se aprieta el gatillo de la pistola para iniciar el arco manteniéndose la pistola inmóvil hasta que se corta la corriente. El tiempo de soldeo debe ser suficiente para conseguir la fusión de ambas chapas, suele ser de 0,3 a 1,7 segundos en el caso de chapas de espesores inferiores a 3 mm y de hasta 5 segundos para chapas de espesores mayores.

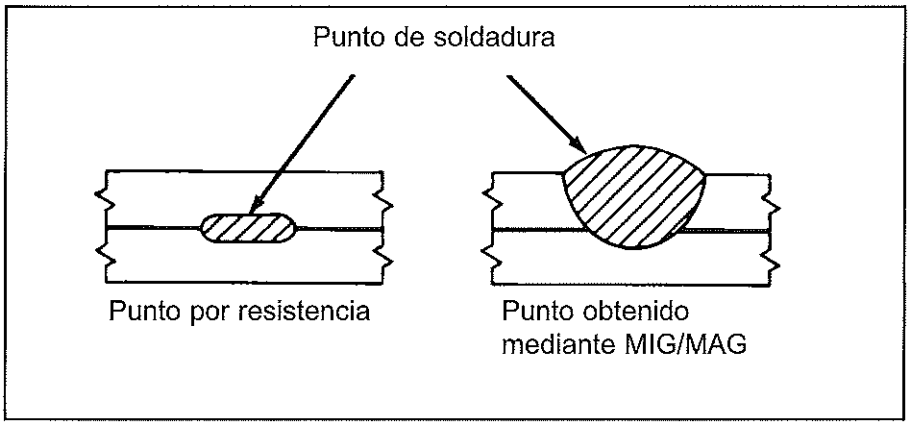
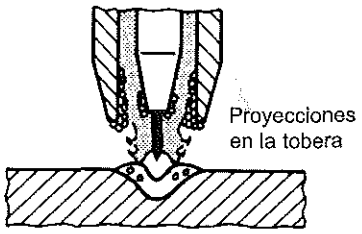
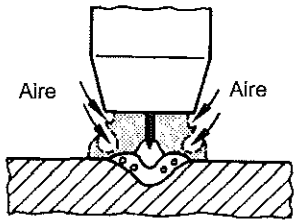
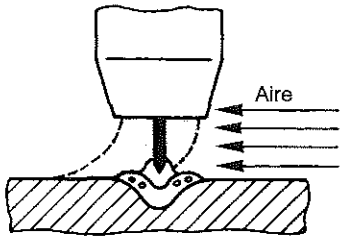
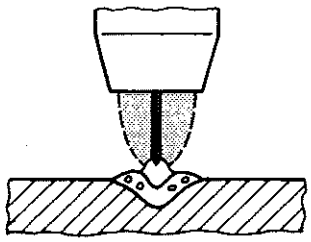
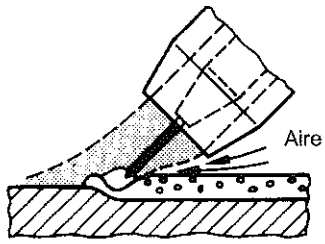


FIGURA 13.21: COMPARACIÓN ENTRE UN PUNTO OBTENIDO POR RESISTENCIA Y UNO OBTENIDO POR MIG/MAG

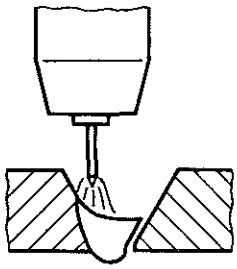
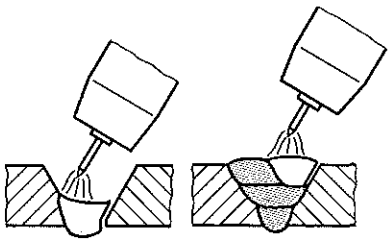
13.8. Defectos Típicos en las Soldaduras

Defecto: Porosidad	
Causa	*Remedio*
- Caudal de gas bajo que produce una protección defectuosa o proyecciones en la tobera que reduce la sección de ésta.  	- Aumentar el caudal de gas de protección y retirar las proyecciones de la tobera. En el caso del CO_2 situar calentadores entre la válvula de la botella y el manorreductor. En el caso de haberse atascado el manorreductor por hielo utilizar calentadores.
- Caudal de gas alto. La turbulencia generada por el excesivo caudal permite que el aire se introduzca en el baño de fusión.  	- Disminuir el caudal para eliminar la turbulencia.
- Excesivas corrientes de viento.  	- Proteger la zona de soldeo del viento.
- Material base contaminado.	- Extremar la limpieza del material base

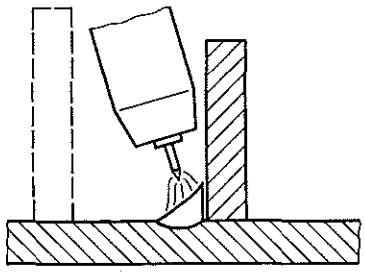
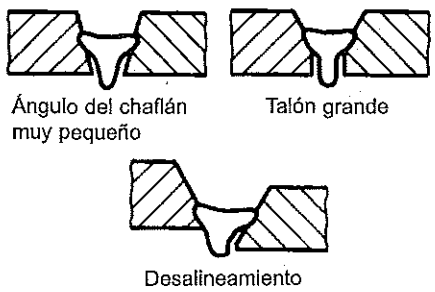
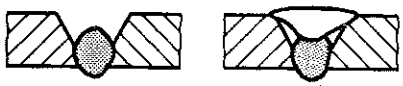
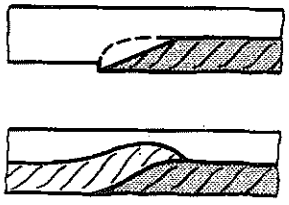
Defecto: Porosidad	
Causa	*Remedio*
- Electrodo contaminado o sucio.	- Utilizar exclusivamente electrodos limpios y secos.
- Tensión muy elevada.	- Disminuir la tensión.
- Longitud visible ("extensión") muy grande.	- Acortar la extensión y determinar la tensión adecuada.
- Insuficiente protección debida a una velocidad de soldeo elevada.	- Reducir la velocidad.
- Pistola demasiado separada de la pieza. 	- Acercar la pistola a la pieza. Mantener la pistola al final de la soldadura hasta que ésta se solidifique.
- Ángulo de desplazamiento demasiado grande. 	- Disminuir el ángulo de desplazamiento (situar la pistola más vertical).
- Contaminación del gas de protección.	- Utilizar gases de protección de gran calidad. Purgar las botellas (excepto las de hidrógeno y mezclas con hidrógeno) antes de conectarlos a las mangueras para eliminar la acumulación de polvo que pudiera existir.

Defecto: Falta de fusión o de penetración

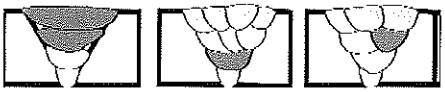
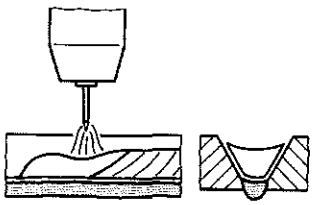
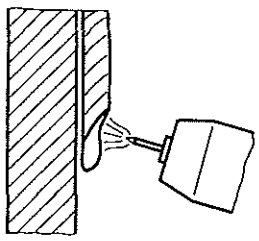
NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base, solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.

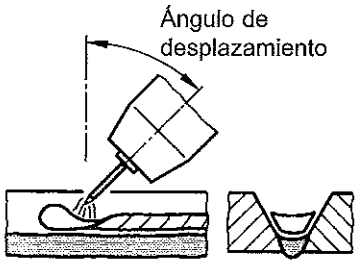
Causa	*Remedio*
- Parámetros de soldeo no adecuados.	- Aumentar la tensión y la velocidad de alimentación del alambre. - Reducir la velocidad de desplazamiento. - Disminuir la "extensión". - Reducir la dimensión del alambre. - Reducir el espesor de cada cordón de soldadura.
- Manipulación de la pistola inadecuada. * Situación de la pistola asimétrica respecto a los lados del bisel. 	* Distribuir el calor del arco en forma simétrica respecto a ambas piezas.
* Pistola con inclinación excesiva hacia un lado. 	* Mantener la inclinación correcta.

Defecto: Falta de fusión o de penetración

Causa	*Remedio*
* Falta de accesibilidad. 	* Cambiar el diseño de la unión o elegir una boquilla de menor tamaño.
- Diseño inapropiado de la unión. 	- Reducir el desalineamiento. - Aumentar la separación en la raíz. - Reducir el talón. - Aumentar el ángulo del chaflán.
- Realizar el soldeo sobre cordones con sobreespesor excesivo. 	- Eliminar el exceso de sobreespesor mediante amolado.
- Empalme entre cordones defectuoso.	- Amolar el final del cordón anterior y cebar el arco antes del final del cordón. 

Defecto: Falta de fusión o de penetración

Causa	*Remedio*
- Superficies del chaflán sucias u oxidadas.	- Limpiar, y decapar si fuera necesario, las superficies del chaflán.
- Técnica de soldeo no adecuada.	- Cuando se realicen cordones con balanceo pararse momentáneamente en los extremos.
- Cordones excesivamente anchos sin llegar a fundir el chaflán.	- Limitar la anchura del cordón, cuando el chaflán se ensanche se preferirá realizar 2 cordones estrechos a uno ancho.  Incorrecto Correcto Correcto
- El baño de fusión se adelanta al arco e impide la perfecta fusión de los bordes. Causas:	
* Velocidad de desplazamiento baja o tasa de deposición (velocidad de alimentación del alambre) demasiado alta. Este defecto puede ocurrir más fácilmente en la posición PG.  	* Reducir el espesor de cada cordón individual. Disminuir la velocidad de alimentación del alambre en vertical descendente.

Defecto: Falta de fusión o de penetración	
Causa	*Remedio*
- Ángulo de desplazamiento demasiado grande.  	- Reducir el ángulo de desplazamiento.

Defecto: Grietas	
Causa	*Remedio*
- Embridamiento excesivo.	- Reducir el embridamiento. - Precalentar. - Utilizar un metal de aportación más dúctil. - Realizar un martillado.
- Electrodo inadecuado.	- Revisar la composición del alambre.
- Penetración excesiva respecto a la anchura del cordón.	- Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la tensión.
- Aportación de calor demasiado elevada que causa deformaciones grandes.	- Reducir la tensión, la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la velocidad de desplazamiento.
- Tensiones residuales elevadas, enfriamiento rápido y grandes deformaciones.	- Precalentar para reducir el nivel de las tensiones residuales, utilizar una secuencia de soldeo adecuada.

Defecto: Mordeduras	
Causa	*Remedio*
- Tensión excesiva.	- Disminuir la tensión.
- Intensidad excesiva.	- Reducir la velocidad de alimentación del alambre.
- Movimiento lateral muy rápido.	- Dar un movimiento lateral más lento y retener un poco a los lados del cordón.
- Velocidad de desplazamiento excesiva.	- Disminuir la velocidad de desplazamiento.
- Pistola con inclinación excesiva.	- Mantener la inclinación adecuada de la pistola.

Defecto: Proyecciones	
Causa	*Remedio*
- Humedad en el gas.	- Emplear gas de protección bien seco.
- Arco demasiado largo.	- El arco debe tener una longitud de unos 3 mm.
- Intensidad demasiado elevada.	- Disminuir la velocidad de alimentación del alambre.
- Tensión muy elevada.	- Disminuir la tensión, con tensión alta las proyecciones son muy grandes.
- Pistola al polo negativo.	- Conectar la pistola en el polo positivo.
- Extremo libre del alambre excesivo.	- Disminuyendo la longitud libre de varilla disminuyen las proyecciones.
- Velocidad de soldadura alta.	- Seleccionar la velocidad adecuada.
- Inclinación excesiva de la pistola.	- Llevar la inclinación correcta.

Defecto: Agujeros	
Causa	*Remedio*
- Intensidad muy elevada.	- Disminuir la intensidad para evitar la performación de la chapa.
- Tensión de arco muy baja.	- Aumentar la tensión y disminuirá la penetración.
- Movimiento de desplazamiento muy lento.	- Aumentar la velocidad de desplazamiento.
- Bordes de las chapas muy separados.	- Disminuir la separación entre los bordes.
- Metal base muy caliente.	- Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.

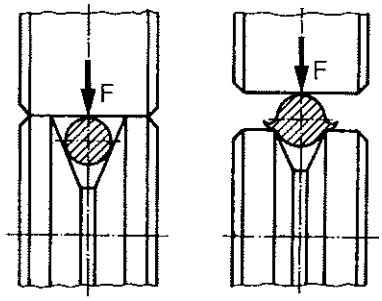
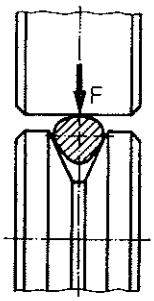
Defecto: Falta de espesor. Falta de material o relleno insuficiente del chaflán	
Causa	*Remedio*
- Velocidad excesiva.	- Disminuir la velocidad de desplazamiento.

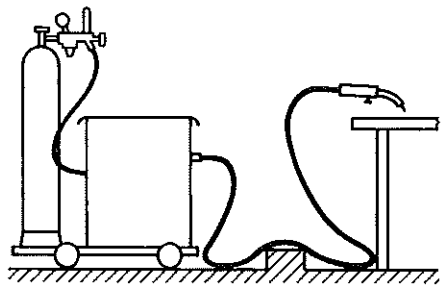
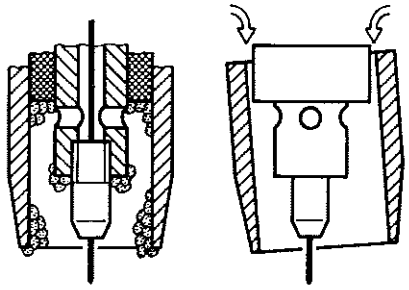
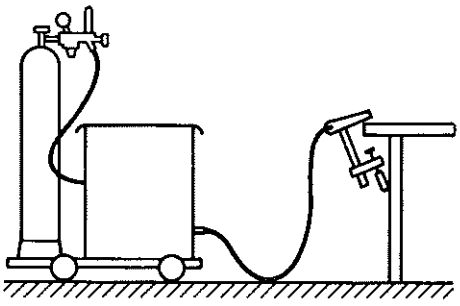
Defecto: Exceso de metal aportado	
Causa	*Remedio*
- Diámetro de alambre demasiado grueso.	- Utilizar alambre de menor diámetro.
- Velocidad de desplazamiento muy lenta.	- Aumentar la velocidad de desplazamiento.

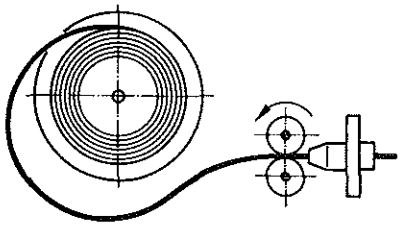
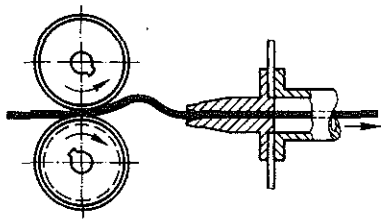
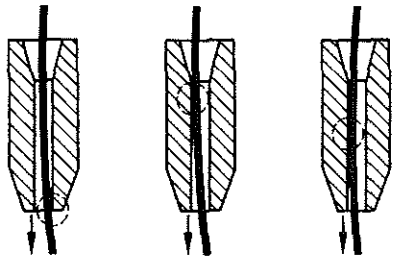
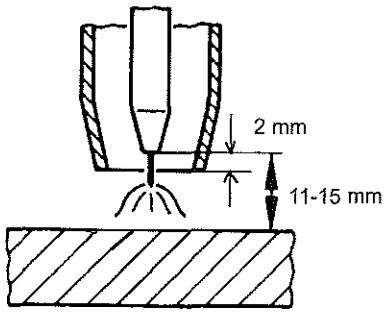
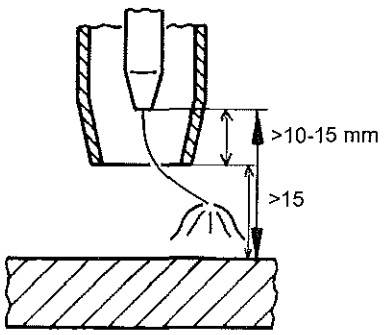
Defecto: Cordón irregular	
Causa	*Remedio*
- Intensidad excesiva.	- Disminuir la intensidad.
- Tensión muy baja.	- Aumentar la tensión.
- Movimiento de avance irregular.	- Dar a la pistola un movimiento de avance uniforme.

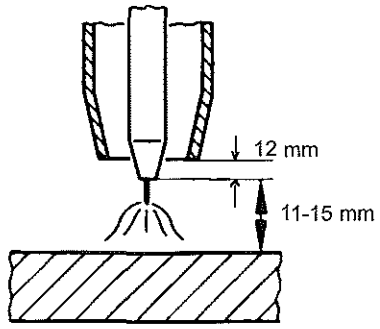
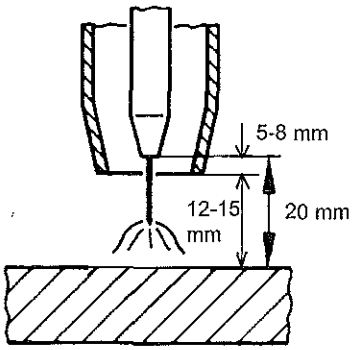
Defecto: Cordón irregular	
Causa	*Remedio*
- Avance irregular del alambre.	- Dar más presión a las ruletas de arrastre del alambre. Cambiar las guías si están desgastadas. Cambiar el tubo de contacto si está desgastado o si tiene irregularidades en su interior.
- Arco muy largo.	- Disminuir la longitud del arco.
- Excesiva inclinación de la pistola.	- Colocar la pistola con la inclinación debida.

13.9. Fallos en el Equipo MIG/MAG. Causas y Consecuencias

Componente	Causa del Fallo
Rodillos de la unidad de alimentación. 	Tamaño del perfil del rodillo demasiado grande o que se ha desgastado por el uso. Rodillo muy pequeño.
Presión del rodillo de alimentador de alambre 	Presión de contacto demasiado ligera. Presión de contacto demasiado fuerte que produce excesivo rozamiento o deforma el alambre.

Componente	Causa del Fallo
Mangueras 	Retorcimiento o doblado de las mangueras.
Boquilla 	Parcialmente obturada por las proyecciones. Holgura.
Cable de la pieza 	Limpieza inadecuada de la conexión. Holgura en la conexión.

Componente	Causa del Fallo
Bobina de alambre 	Freno demasiado débil. Freno demasiado fuerte.
Guía de alambre 	Distancia desde el rodillo alimentador muy grande o taladro muy grande.
Tubo de contacto 	Tubo de contacto con taladro demasiado grande o desgastado por rozamiento. Taladro demasiado pequeño. Tubo de contacto deteriorado por la excesiva tensión de soldeo.
Situación CORRECTA DEL TUBO DE CONTACTO Para cortocircuito 	Tubo de contacto muy separado del extremo de la tobera. INCORRECTO 

Componente	Causa del Fallo
Para cortocircuito  Para spray 	

Capítulo 14

Soldeo con Alambre Tubular

INDICE

14.1. Principios del proceso 332

14.1.1. Descripción y denominaciones 332

14.1.2. Aplicaciones: Ventajas y limitaciones 333

14.2. Equipo de soldeo 335

14.2.1. Rodillos 335

14.2.2. Pistola 336

14.3. Modos de transferencia 339

14.4. Alambres tubulares 339

14.4.1. Transferencia y absorción de impurezas 340

14.4.2. Protección contra la humedad 340

14.5. Gases de protección 340

14.6. Control del proceso 341

14.6.1. Extensión libre del alambre 341

14.6.2. Ángulo inclinación de la pistola 342

14.7. Defectos típicos en las soldaduras 343

14.1. Principios del Proceso

14.1.1. Descripción y denominaciones

En el proceso de soldeo por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional.

Este proceso combina las características del soldeo con electrodo revestido, el soldeo por arco sumergido y el soldeo MIG/MAG.

La técnica de soldeo con alambre tubular se diferencia del soldeo MIG/MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria; podríamos decir que es como un electrodo revestido al revés. En el resto hay bastantes similitudes con el proceso MIG/MAG.

Como se ha dicho, dentro del proceso hay dos variantes:

- Autoprotegido (self-shielded ó innershielded), ver figura 14.1, que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente.
- Con protección de gas (gas-shielded ó outershielded), ver figura 14.2, que suele ser CO_2 o mezclas de CO_2 y argón, que utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

Con ambos métodos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal de soldadura hasta que solidifica y, en ambos casos, la protección del arco puede soportar el viento y los agentes atmosféricos en mayor medida que los procesos con protección gaseosa (TIG y MIG/MAG).

Es un proceso semiautomático, aunque también puede utilizarse en el soldeo mecanizado y automatizado.

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular **con** protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

- FCAW-G, gas shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 136, Soldeo por arco con alambre tubular con protección de gas activo (UNE-EN ISO 4063).

- 137, Soldeo por arco con alambre tubular con protección de gas inerte (UNE-EN ISO 4063).

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular **sin** protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

- FCAW-S, self-shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 114, Soldeo por arco con alambre tubular sin protección gaseosa (UNE-EN ISO 4063).

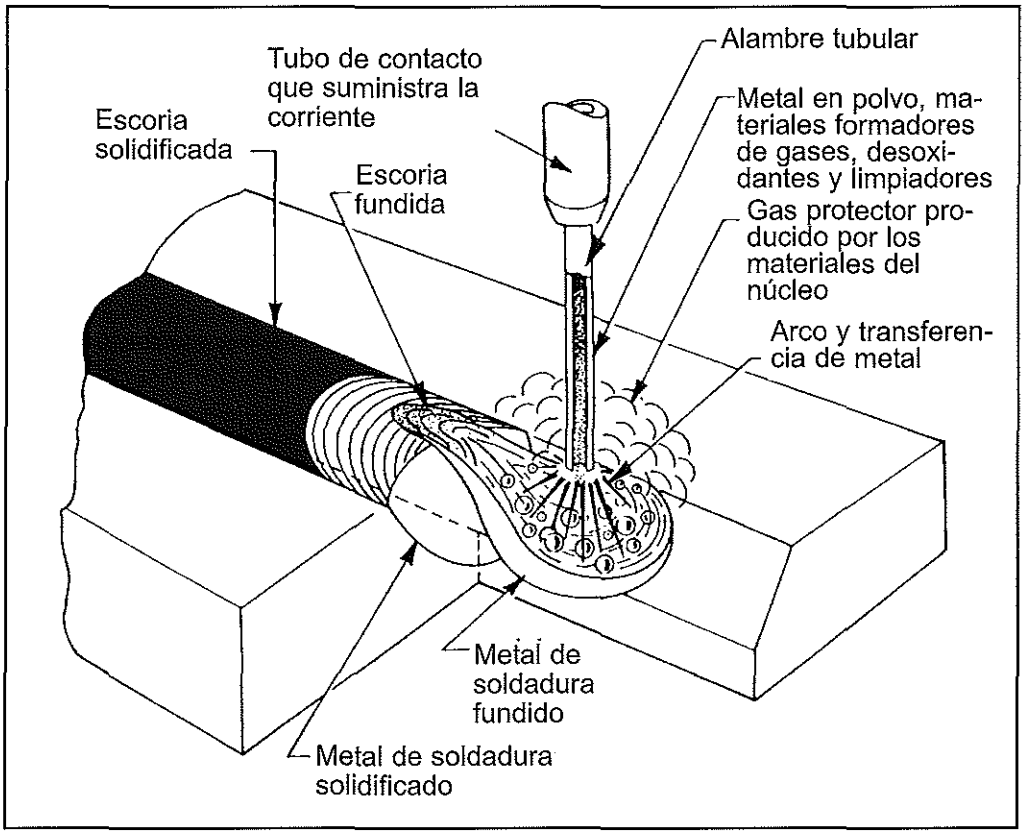

Alambre tubular
Tubo de contacto que suministra la corriente
Escoria solidificada
Escoria fundida
Metal en polvo, materiales formadores de gases, desoxidantes y limpiadores
Gas protector producido por los materiales del núcleo
Arco y transferencia de metal
Metal de soldadura fundido
Metal de soldadura solidificado

FIGURA 14.1: PROCESO CON ALAMBRE TUBULAR AUTOPROTEGIDO

14.1.2. Aplicaciones. Ventajas y limitaciones

Este proceso se utiliza para el soldeo de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables y fundiciones, también se suele utilizar para realizar recargues.

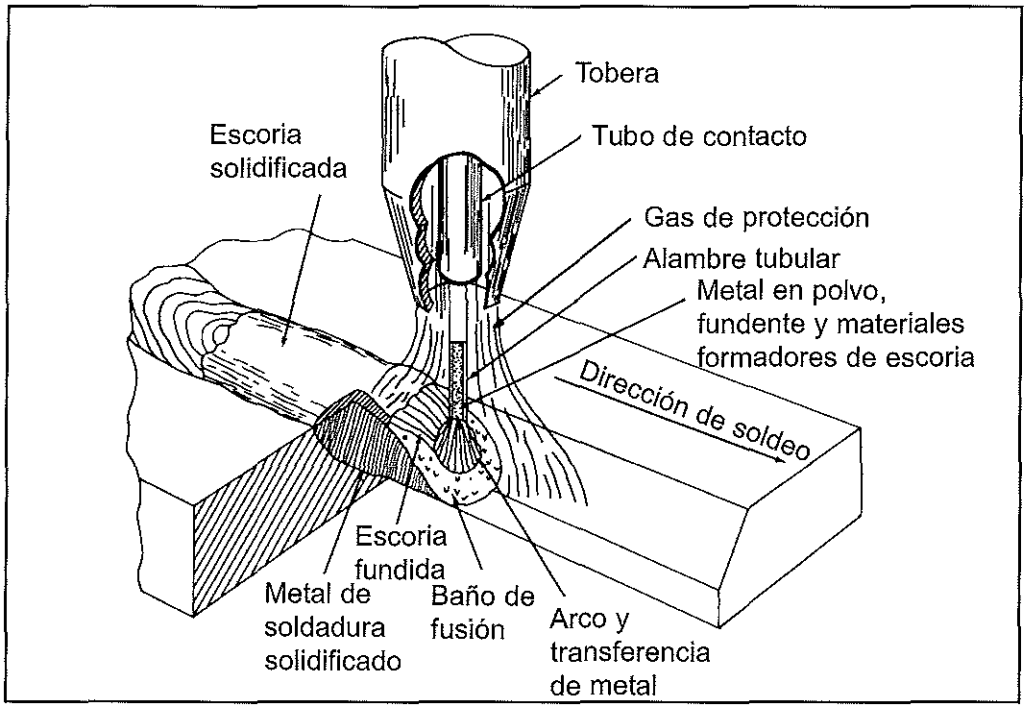


FIGURA 14.2: PROCESO CON ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCIÓN GASEOSA

La elección del tipo de proceso (autoprotegido o protegido con gas) depende de las propiedades mecánicas deseadas, del tipo de alambre disponible y del tipo de unión; generalmente se utiliza el autoprotegido en las mismas aplicaciones en las que se elegiría el soldeo con electrodo revestido, mientras que el proceso protegido por gas se utilizaría en aquellas aplicaciones en las que se selecciona el proceso MIG/MAG.

Los procesos semiautomáticos con protección de gas (como MIG/MAG), cuando son utilizados al aire libre han de ser necesariamente aislados del viento que desplazaría el gas y dejarían desprotegido el baño de fusión.

Al igual que los electrodos revestidos, los alambres utilizados en este proceso de soldeo generan por sí mismos el gas protector. Dicho gas se produce dentro del arco por lo que le afecta en menor medida las corrientes de aire, haciendo al proceso idóneo para utilizarlo en lugares donde las condiciones climatológicas sean adversas.

La principal desventaja frente al proceso MIG/MAG es el tiempo que se emplea en retirar la escoria, que puede convertirle en un proceso no competitivo, especialmente en las pasadas de raíz. Otra desventaja es la gran cantidad de humos que se producen durante el soldeo.

Respecto al soldeo con electrodo revestido, este proceso tiene la ventaja de su mayor productividad que se traduce en una reducción del coste de los productos. La mayor desventaja respecto al soldeo con electrodo revestido es el mayor coste del equipo, que supone una mayor inversión inicial.

Otras características del proceso son:

- No se requiere tanta limpieza del metal base como en el soldeo MIG/MAG.
- Los electrodos tubulares son más caros que los macizos, excepto para algunos aceros de alta aleación.
- En la actualidad está limitado al soldeo de todo tipo de aceros y aleaciones base níquel.

El campo de aplicación de este proceso se centra, con preferencia, en construcciones tales como: astilleros, estructuras de edificios, depósitos de almacenamiento, plataformas petrolíferas, tuberías para gaseoductos y oleoductos, puentes, reparación de maquinaria, etc., siendo posible utilizarlo en cualquier posición.

Este proceso de soldeo es sumamente similar al proceso de soldeo MIG/MAG, por lo que sólo se destacarán los aspectos diferenciadores remitiéndonos al capítulo 13 en el caso que sean similares.

14.2. Equipo de Soldeo

Para el soldeo con alambre tubular se puede utilizar el equipo de soldeo MIG/MAG ya que ambos son similares, como gran diferencia en el caso del soldeo con alambre autoprotegido destaca la ausencia de gas de protección. En la figura 14.3 se ha representado el esquema del equipo de soldeo. Véase también el apartado 13.2 ya que es totalmente aplicable a este proceso.

14.2.1. Rodillos

El proceso requiere el empleo de unos rodillos que no aplasten ni deformen al alambre tubular; la selección de los rodillos, por tanto, debe ser cuidadosa. Se preferirá los rodillos moleteados o con bisel en V en lugar de los clásicos lisos. Además es también imprescindible seleccionar el rodillo de acuerdo con la dimensión del alambre.

14.2.2. Pistola

Las pistolas para soldeo por arco con alambre tubular son muy parecidas a las empleadas para el soldeo por arco con protección de gas.

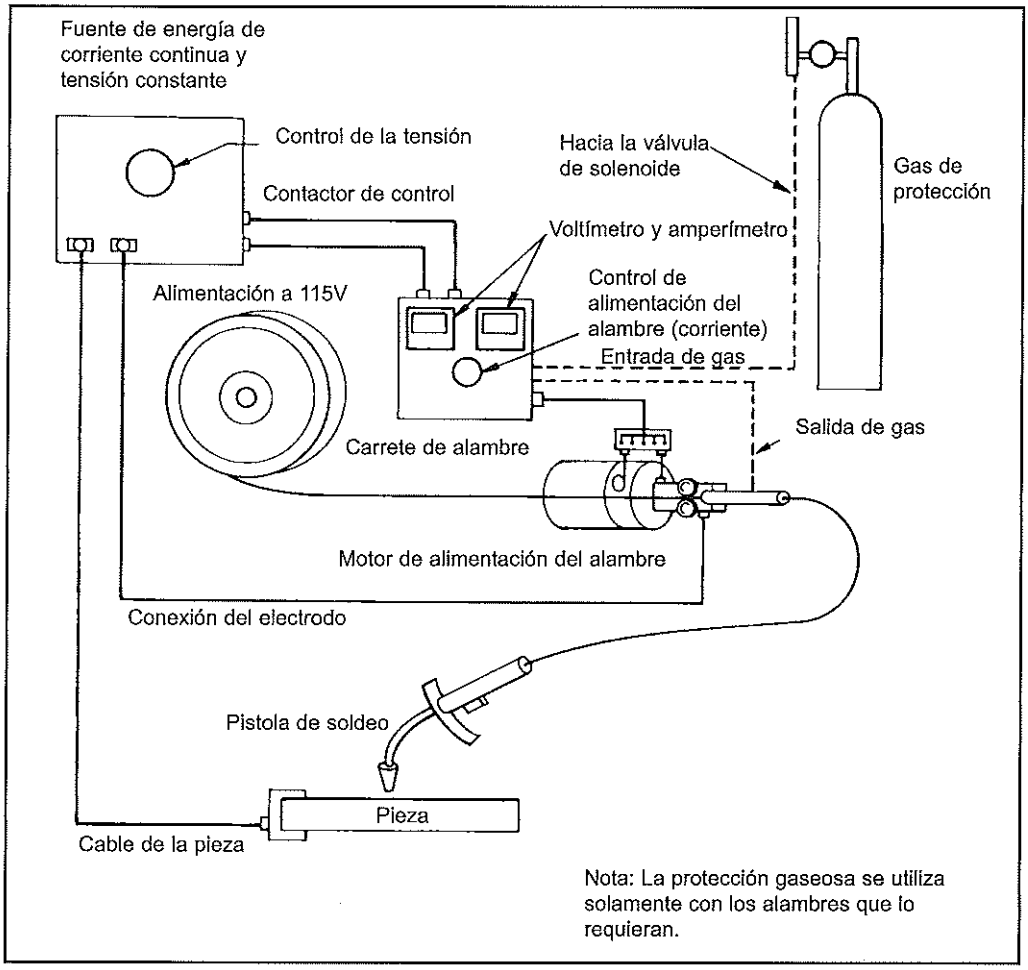

Fuente de energía de corriente continua y tensión constante
Control de la tensión
Contactor de control
Hacia la válvula de solenoide
Gas de protección
Voltímetro y amperímetro
Alimentación a 115V
Control de alimentación del alambre (corriente)
Entrada de gas
Salida de gas
Carrete de alambre
Motor de alimentación del alambre
Conexión del electrodo
Pistola de soldeo
Pieza
Cable de la pieza
Nota: La protección gaseosa se utiliza solamente con los alambres que lo requieran.

FIGURA 14.3: EQUIPO PARA EL SOLDEO POR ARCO CON ALAMBRE TUBULAR

En la figura 14.4 (A) se representa una pistola para soldeo con alambre autoprotegido y en la 14.4 (B) la pistola para soldeo con protección gaseosa [iguales que las de soldeo MIG/MAG (ver figura 13.12)].

Algunos alambres para el soldeo autoprotegido requieren que gran parte de la extensión libre del mismo quede dentro de la tobera para conseguir la máxima protección; las pistolas para estos alambres suelen tener guías con una prolongación aislada (ver figura 14.5) para dar apoyo al alambre.

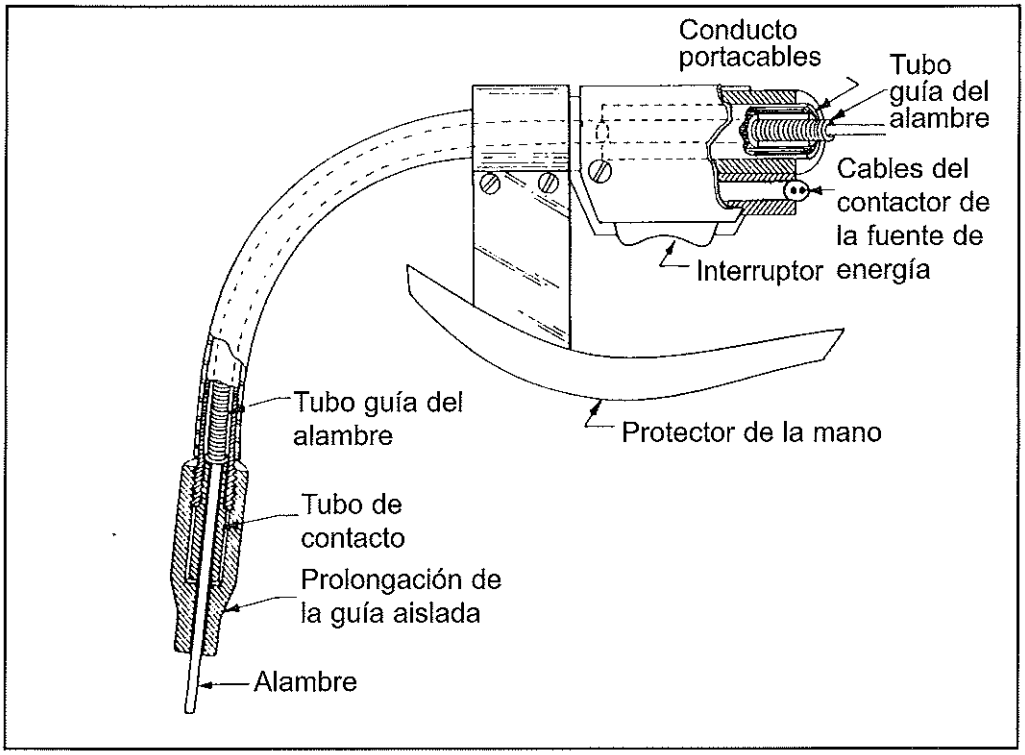


FIGURA 14.4 (A): PISTOLA PARA SOLDEO CON ALAMBRE AUTOPROTEGIDO

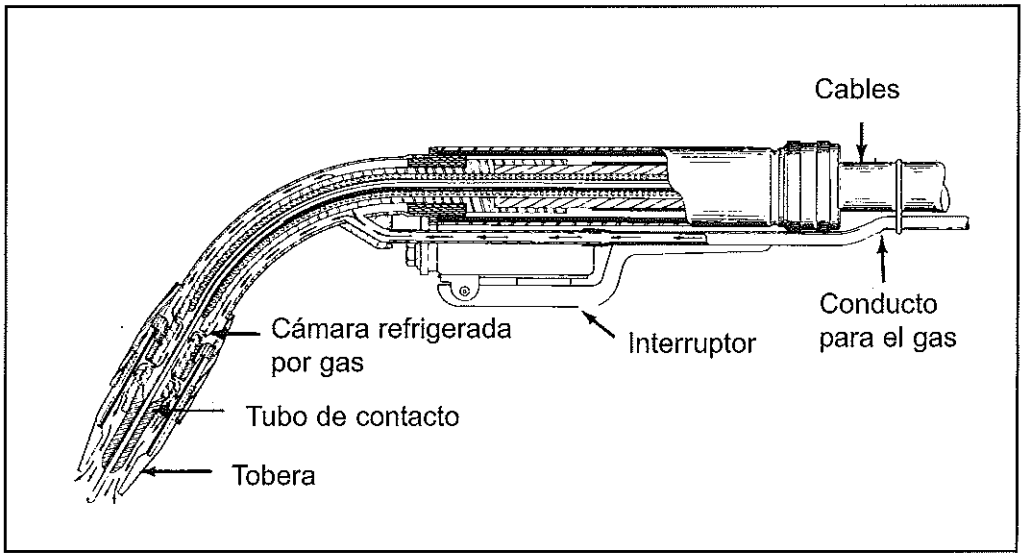


FIGURA 14.4 (B): PISTOLAS PARA EL SOLDEO CON PROTECCIÓN DE GAS

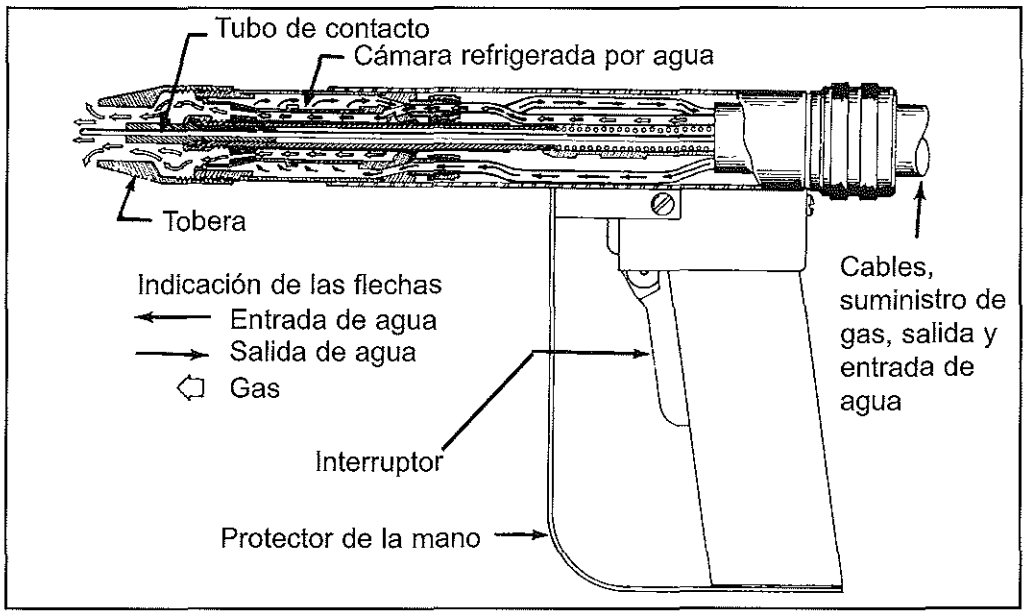


FIGURA 14.4 (B) (CONTINUACIÓN): PISTOLAS PARA EL SOLDEO CON PROTECCIÓN DE GAS

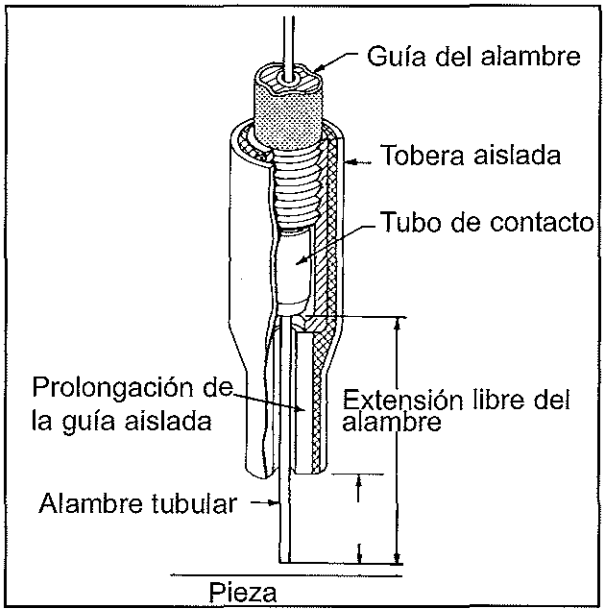


FIGURA 14.5: TOBERA PARA ALAMBRES AUTOPROTEGIDOS

14.3. Modos de Transferencia

En el capítulo 13 se indicó que la transferencia de metal de aportación podría ser mediante cortocircuitos, globular, spray y por arco pulsado.

En el proceso MIG/MAG la transferencia se produce de una de las formas explicadas, sin embargo en el soldeo con electrodo revestido es más difícil establecer el tipo de transferencia que se produce, porque el arco se oculta parcialmente por el humo y las partículas procedentes del revestimiento, además se suele realizar la transferencia en cualquiera de los modos o mediante una mezcla de ellos. La transferencia de metal de aporte en el proceso con alambre tubular es una combinación de la transferencia en el proceso MIG/MAG y la transferencia en el proceso de soldeo con electrodo revestido.

En cualquier caso la transferencia de metal en el soldeo con alambre tubular se puede realizar de forma globular, spray, cortocircuito o por arco pulsado. El tipo de transferencia depende del tipo de fundente, del gas de protección, cuando se utiliza, y de la intensidad y tensión de soldeo. No obstante el tipo de transferencia suele ser de tipo spray. Las fuentes de arco pulsado, muy utilizadas en el soldeo MIG/MAG, no lo son tanto en este proceso, por no ser necesarias.

14.4. Alambres Tubulares

Los alambres tubulares son electrodos continuos similares a los empleados en soldadura MIG/MAG, con la diferencia de que son huecos y en su interior contienen un fundente que tiene funciones similares a las del revestimiento de los electrodos revestidos. (Ver figura 14.6). La cantidad de fundente varía de un 15 a un 35% en peso.

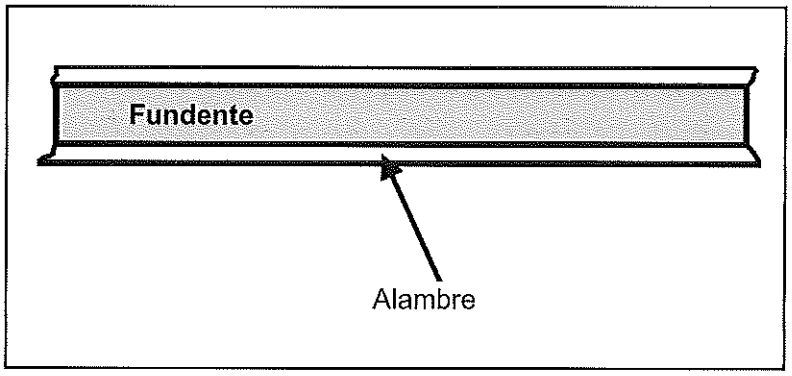


FIGURA 14.6: ELECTRODO-ALAMBRE TUBULAR

14.4.1. Transferencia y absorción de impurezas

Los alambres de gran diámetro y de forma tubular simple presentan una transferencia globular en forma de gotas medias y gruesas. Las gotas se forman en el extremo del alambre, donde engordan, antes de ser transferidas al baño de fusión. Por el contrario, en los alambres de sección compleja se obtiene un mejor contacto térmico entre el fundente y el metal del alambre dando una transferencia en forma de gotas finas. Las gotas se inician en la sección central realizándose la transferencia a partir del eje central (transferencia axial) y las gotas están en contacto más íntimo con los productos del fundente (desoxidantes, formadores de gas, etc).

En los alambres de pequeño diámetro la transferencia suele ser en forma de gotas finas (spray) aún cuando la forma del alambre tubular sea simple, sin olvidar que el tipo de transferencia también depende de los parámetros eléctricos y de la protección gaseosa.

14.4.2. Protección contra la humedad

La mayoría de los alambres tubulares tienen tendencia a absorber la humedad ambiental. Un alambre húmedo favorecerá la formación de poros. Se recomienda guardar las bobinas en su paquete durante la noche y mientras no se utilicen.

Los paquetes una vez abiertos deben mantenerse en lugares secos y cálidos. Es importante no almacenar los paquetes en un suelo frío o cerca de paredes frías. El almacén deberá mantener una temperatura de 15-30° C y una humedad inferior al 55%. El alambre no deberá mantenerse sin protección durante más de 24 h si la humedad es superior al 55%.

En general los alambres que hayan absorbido humedad no pueden secarse.

En algunos casos se puede realizar un secado a 150-315° C, esto requiere que el alambre tubular sea devando en algún dispositivo metálico.

14.5. Gases de Protección

Los gases utilizados en el soldeo con alambre tubular protegido por gas de cualquier material son:

- CO_2.
- Mezclas CO_2 + Argón (generalmente 25% CO_2).
- Argón + 2% Oxígeno.

En general se debe utilizar la mezcla de gases recomendada por el fabricante del alambre.

Como principales ventajas del empleo de CO_2 tenemos:

- Bajo coste.
- Gran penetración.

Cuando se suelda con CO_2 suele producirse transferencia globular, aunque existen algunos fundentes que consiguen transferencia spray incluso con CO_2.

El efecto del argón en el gas de protección, en comparación con el CO_2, se traduce en:

- menor oxidación
- mayor estabilidad del arco
- mejor aspecto del cordón
- menor fluidez de la escoria
- penetración más estrecha

En el caso de utilizar CO_2 el baño de fusión se puede contaminar con carbono. Cuando se utiliza alambre autoprotegido el nitrógeno puede entrar en el baño de fusión con mayor facilidad; en este caso se debe evitar el soldeo con bajas intensidades y longitudes de arco grandes (tensión de soldeo elevada).

El caudal de gas recomendado es de 15 a 25 l/min, dependiendo del tipo de gas, tamaño de pistola y aplicación. El soldeo en chaflanes más estrechos requiere menos caudal de gas que con preparaciones de bordes más abiertas. El soldeo en vertical ascendente puede dar alguna pérdida de gas por efecto chimenea, requiriendo mayor caudal de gas además de otras precauciones.

14.6. Control del Proceso

La regulación de los parámetros para el soldeo con alambre tubular puede resultar difícil, como ocurre en MIG/MAG, por la gran relación existente entre ellos.

Se recomienda al lector que lea detenidamente el apartado 13.6, puesto que es aplicable en su totalidad a este proceso.

14.6.1. Extensión libre del alambre

La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 20 a 40 mm para la

extensión libre del alambre en las aplicaciones con protección gaseosa y una extensión de 20 a 95 mm para el soldeo autoprotegido.

14.6.2. Ángulo de inclinación de la pistola

Se deben seleccionar los ángulos con sumo cuidado. Para el soldeo autoprotegido el ángulo de desplazamiento (ver figura 14.7) debe ser el mismo que el utilizado en el soldeo con electrodos revestidos. Para las posiciones horizontal y plana el ángulo de trabajo será de 20 a 45° [figura 14.7 (A)]. Se utilizan mayores ángulos para los espesores delgados. A medida que aumenta el espesor de la pieza el ángulo de desplazamiento debe disminuir (poner la pistola más vertical) para aumentar la penetración; para el soldeo en vertical ascendente el ángulo será de 5 a 15°; se puede utilizar en algunos casos el soldeo hacia adelante, sin embargo, en el soldeo vertical descendente se debe realizar la soldadura siempre con la técnica de soldeo hacia atrás y un ángulo de desplazamiento de unos 15°; de esta forma se mantendrá el baño de fusión y el metal líquido no adelantará a la pistola.

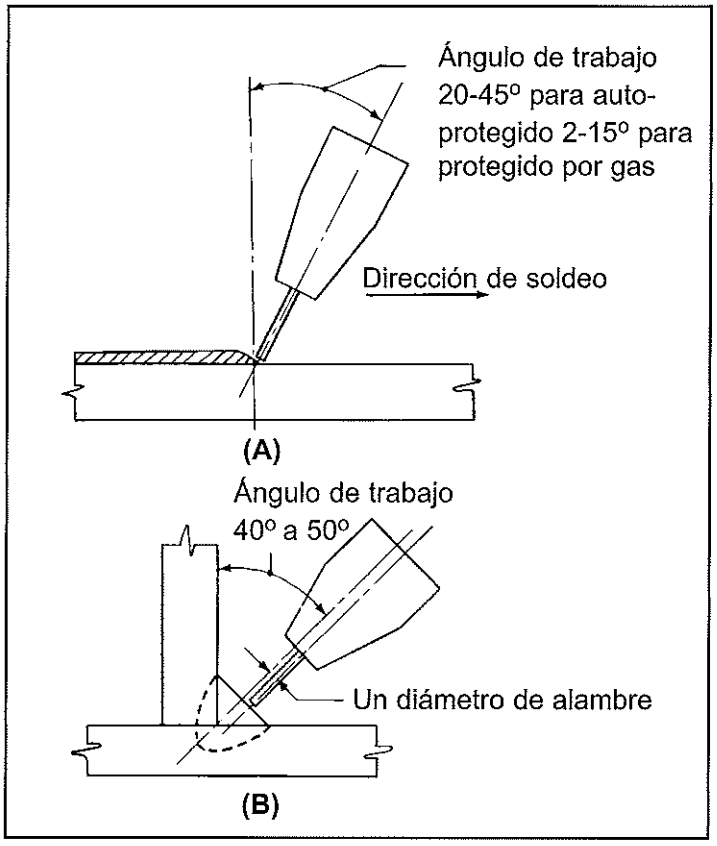


FIGURA 14.7: POSICIÓN DEL ALAMBRE

En el soldeo protegido con gas se utilizan ángulos de 2 a 15° y no más de 25°, ya que si el ángulo de desplazamiento es muy grande se pierde la efectividad de la protección gaseosa.

Cuando el soldeo en ángulo se realiza en posición horizontal, el flujo de material tiende a desviarse en la dirección de soldeo y hacia un lado. Para corregir esta tendencia, el alambre debe apuntar a la chapa inferior cerca de la esquina del rincón de la unión entre las dos chapas. Además del ángulo de desplazamiento, que será como se ha indicado anteriormente, el ángulo de trabajo será de 40° a 50° en relación con la chapa vertical. La figura 14.7 (B) muestra la desviación del electrodo con respecto al centro de la unión para aminorar el efecto explicado. Para el soldeo en vertical ascendente se puede utilizar un ángulo de trabajo más pequeño.

14.7. Defectos Típicos en las Soldaduras

Se recomienda revisar los defectos que se pueden encontrar en las soldaduras realizadas con MIG/MAG (capítulo 13).

Defecto: Porosidad	
Causa	*Remedio*
- Material base contaminado.	- Extremar la limpieza del material base.
- Alambres tubulares contaminados o sucios.	- Desengrasar. - Evitar la suciedad en el taller. - Secar los alambres.
- Insuficiente cantidad de fundente en el alambre.	- Cambiar el alambre.
- Tensión muy elevada.	- Disminuir la tensión.
- Extensión visible ("stickout") muy grande.	- Acortar la extensión y determinar la tensión adecuada.
- Extensión visible ("stickout") muy pequeña (para soldeo autoprotegido)	- Alargar la extensión y determinar la tensión adecuada.
- Velocidad de soldeo elevada.	- Ajustar la velocidad.

Defecto: Porosidad	
Causa	*Remedio*
- Caudal de gas bajo que produce una protección defectuosa.	- Aumentar el caudal de gas de protección.
- Proyecciones en la tobera que reducen su sección.	- Retirar las proyecciones de la boquilla.
- Caudal de gas alto.	- Disminuir el caudal para eliminar la turbulencia.
- Excesivas corrientes de viento.	- Proteger la zona de soldeo del viento.
- Gas de protección contaminado.	- Controlar la alimentación del gas. Purgar.
Defecto: Falta de fusión o de penetración	
Causa	*Remedio*
- Parámetros de soldeo no adecuados.	- Aumentar la velocidad de alimentación del alambre. - Reducir la velocidad de desplazamiento. - Disminuir el "stickout". - Reducir la dimensión del alambre. - Aumentar la velocidad de soldeo (para el soldeo autoprotegido).
- Manipulación del alambre inadecuada.	- Mantener la inclinación correcta. - Centrar la pistola y elegir el ángulo de inclinación adecuado.
- Diseño inapropiado de la unión.	- Reducir la desalineación. - Aumentar la separación en la raíz. - Reducir el talón.
Defecto: Grietas	
Causa	*Remedio*
- Embridamiento excesivo.	- Reducir el embridamiento. - Precalentar. - Utilizar un metal de aporte más dúctil. - Realizar un martillado.

Defecto: Grietas	
Causa	*Remedio*
- Alambre inadecuado.	- Revisar la composición del fundente o del alambre.
- Defecto en el llenado de electrodo.	- Cambiar el electrodo.

Defecto: Mordeduras	
Causa	*Remedio*
- Tensión excesiva.	- Disminuir la tensión para que el calentamiento de la pieza sea menor.
- Movimiento lateral muy rápido.	- Dar un movimiento lateral más lento y retener un poco a los lados del cordón.
- Velocidad de avance excesiva.	- Disminuir la velocidad de avance.
- Pistola con inclinación excesiva.	- Mantener la inclinación adecuada de la pistola.

Defecto: Inclusiones de escoria	
Causa	*Remedio*
- Intensidad de corriente muy débil.	- Aumentar la intensidad para que la escoria se funda y flote en el baño.
- Cordones mal distribuidos.	- Distribuir los cordones de forma que no queden estrías muy profundas donde se quede encajada la escoria.
- Movimiento de avance irregular y demasiado ancho.	- Dar un movimiento de avance regular y disminuir la anchura del cordón.

Defecto: Proyecciones	
Causa	*Remedio*
- Humedad en el gas.	- Emplear gas de protección bien seco.
- Arco demasiado largo	- El arco debe tener una longitud de unos 3 mm

Defecto: Proyecciones	
Causa	*Remedio*
- Intensidad o tensión demasiado elevada.	- Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o la tensión.
- Pistola al polo negativo.	- Colocar la pistola al polo positivo.
- Longitud libre de varilla excesiva.	- Disminuyendo la longitud libre de varilla disminuyen las proyecciones.
Defecto: Agujeros	
Causa	*Remedio*
- Intensidad muy elevada.	- Disminuir la intensidad para evitar la perforación de la chapa.
- Tensión de arco muy baja.	- Aumentar la tensión y disminuirá la penetración.
- Movimiento de avance muy lento.	- Aumentar la velocidad de avance.
- Bordes de las chapas muy separados.	- Disminuir la separación entre los bordes.
- Metal base muy caliente.	- Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.

NOTA: El mantenimiento del equipo de soldeo debe ser idéntico al que se le da al de soldeo MIG/MAG

Capítulo 15

Soldeo por Arco Sumergido

INDICE

15.1. Principios del proceso 349

15.1.1. Descripción y designaciones 349

15.1.2. Aplicaciones, ventajas y limitaciones 351

15.2. Equipo de soldeo 352

15.2.1. Fuente de alimentación 352

15.2.2. Sistema y panel de control 353

15.2.3. Cabezal de soldeo 355

15.3. Metales de aportación 356

15.4. Fundentes 357

15.4.1. Fabricación del fundente 357

15.4.2. Proceso de secado de fundentes 357

15.5. Parámetros de soldeo 357

15.5.1. Relación entre los parámetros 360

15.5.2. Tipo de corriente y polaridad 360

15.5.3. Intensidad de soldeo 360
15.5.4. Tensión de soldeo 361
15.5.5. Velocidad de soldeo 362
15.5.6. Diámetro del alambre 364
15.5.7. Extensión del alambre 364
15.5.8. Anchura y profundidad de la capa de fundente 364
15.6. Técnicas operativas 365
15.6.1. Empleo de respaldo 365
15.6.2. Empleo de apéndices 366
15.6.3. Soldeo circunferencial 367
15.6.4. Posición del alambre 368
15.6.5. Cebado del arco y terminación de soldeo 368
15.6.6. Retirada de la escoria 369
15.7. Defectos típicos en las soldaduras 370
15.8. Fallos en el equipo. Causas y consecuencias 374

15.1. Principios del Proceso

15.1.1. Descripción y designaciones

El proceso de soldeo por arco sumergido consiste en la fusión de un alambre-electrodo continuo y desnudo protegido por la escoria generada por un fundente, granulado o en polvo, suministrado a través de una manguera desde el depósito de fundente.

El proceso de soldeo por arco sumergido puede ser semiautomático o automático. En el proceso semiautomático la pistola se lleva manualmente, suministrándose automáticamente el electrodo. En el proceso automático el soldeo se realiza sin necesidad de un operador durante todo el proceso. El sistema automático permite obtener grandes rendimientos en producción. El proceso semiautomático prácticamente no se utiliza, ya que una de las mayores características del proceso de soldeo por arco sumergido es la facilidad con la que se puede incorporar a los procesos de soldeo totalmente mecanizados, obteniéndose soldaduras de calidad con altas tasas de deposición.

El arco eléctrico se establece entre el alambre metálico y la pieza a soldar. Pueden utilizarse uno o varios alambres simultáneamente, o bien flejes o bandas.

El fundente protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera circundante, de tal manera que ambos permanecen invisibles durante el proceso. Parte del fundente se funde con una función similar a la del recubrimiento en los electrodos revestidos: protege el arco, lo estabiliza, genera una escoria de viscosidad y tensión superficial adecuadas e incluso permite añadir elementos de aleación, o compensar la pérdida de ellos. El resto de fundente, no fundido, puede recuperarse y reciclarse en el proceso.

La figura 15.1 muestra los elementos del sistema de forma esquemática.

Como no existen pérdidas de metal por proyecciones, casi la totalidad del metal de aportación puesto en juego en el proceso pasa a formar la soldadura. El rendimiento térmico es muy elevado, ya que el fundente que recubre el metal de soldadura y el arco no permite pérdidas térmicas. El rendimiento térmico puede llegar a ser del 80% que si se compara con el 70% del proceso manual con electrodo revestido resulta muy elevado.

En la figura 15.2 la fuente de energía P está conectada entre la boquilla y la pieza. El arco se establece dentro de una cavidad rellena de gas protector y humos de soldadura procedentes del fundente. Las paredes de la cavidad están formadas por el metal base no fundido por la parte delantera e inferior; por metal de

soldadura solidificado en la zona posterior; la escoria fundida constituye la pared superior de la cavidad. La figura 15.2 también muestra la pequeña capa de escoria sólida que tiene que ser retirada después de realizar la soldadura.

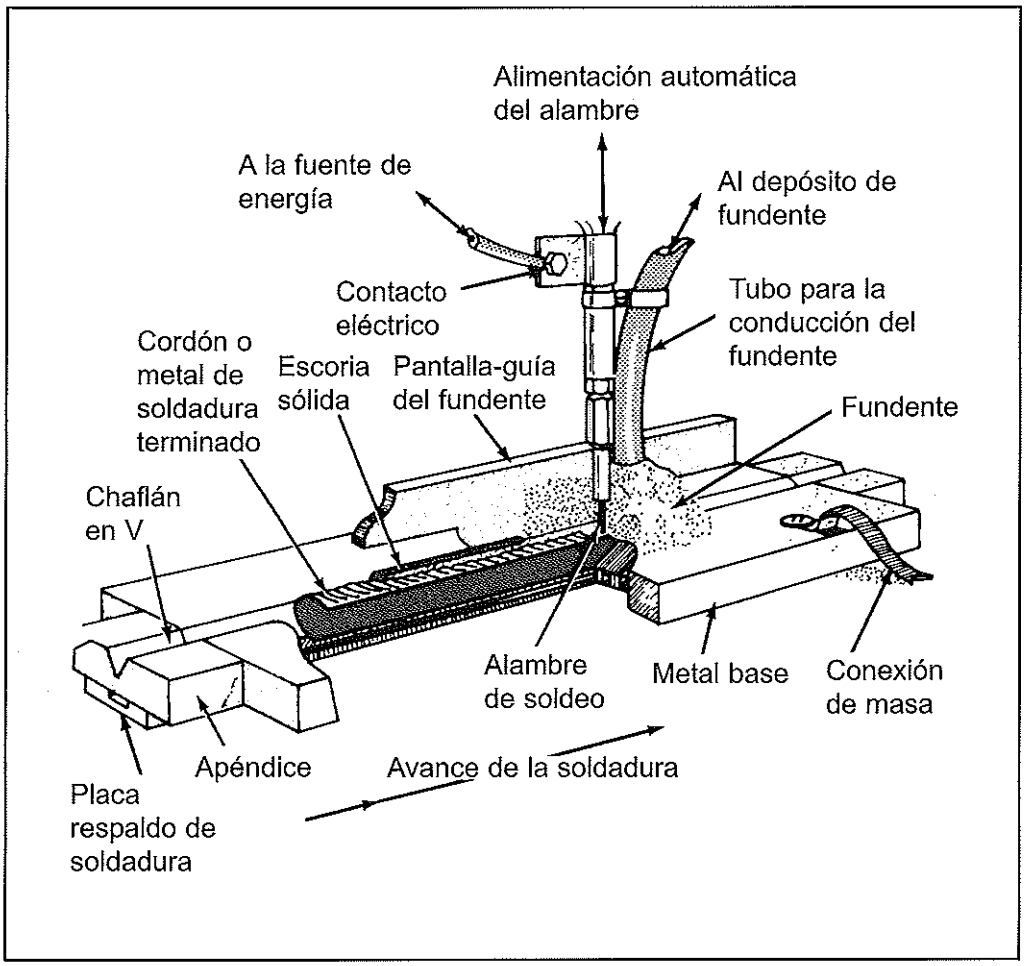


FIGURA 15.1: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO DE SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO

El soldeo por arco sumergido se denomina también:

- SAW, Submerged-arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 12, Soldeo por arco sumergido (UNE-EN ISO 4063)

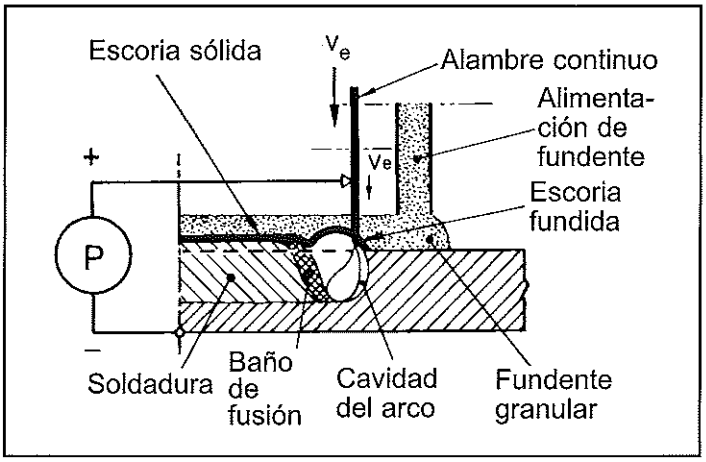


FIGURA 15.2: SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO. P = FUENTE DE ENERGÍA. V_E = VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE

15.1.2. Aplicaciones, ventajas y limitaciones

El soldeo por arco sumergido se utiliza en un gran rango de aplicaciones. Este proceso es muy utilizado en el soldeo de grandes conjuntos soldados por la alta tasa de deposición, la alta calidad de las soldaduras, la gran penetración obtenida y la capacidad para ser automatizado. Es muy utilizado en la fabricación de depósitos a presión, en construcción naval, en edificación, fabricación de tubería, en fabricaciones ferroviarias, así como en cualquier aplicación que requiera realizar soldaduras largas. Se pueden realizar soldaduras en materiales de espesores desde 1,5 mm. El soldeo por arco sumergido no es adecuado para todos los materiales; es muy utilizado para el acero al carbono, aceros de baja aleación y aceros inoxidables. También se puede utilizar en el soldeo de aceros de alta resistencia, de alto contenido en carbono y aleaciones de níquel, aunque se prefiere otros procesos con menores aportes térmicos.

Las limitaciones del proceso son:

- Es necesario un dispositivo para el almacenamiento, alimentación y recogida del fundente.
- Suele ser necesario el empleo de respaldo.
- El fundente está sujeto a contaminaciones que pueden producir defectos en la soldadura.
- En general, es un proceso no adecuado para unir metales de pequeño espesor.

- Sólo se puede utilizar a tope en posición plana, PA, y en ángulo, PB.

15.2. Equipo de Soldeo

El equipo requerido para el soldeo por arco sumergido consiste en (ver figura 15.3):

- Fuente de energía.
- Sistema y panel de control.
- Cabezal
  - Sistema de alimentación del alambre.
  - Pistola de soldeo con tubo de contacto.
  - Tolva de fundente y manguera para su conducción.
  - Sistemas de montaje y posicionamiento del cabezal.
- Equipo accesorio
  - Sistema de desplazamiento.
  - Sistema de recuperación del fundente.
  - Posicionadores y accesorios de sujección.
  - Sistemas de seguimiento de la unión.

15.2.1. Fuente de alimentación

Es fundamental en este tipo de soldeo una fuente que sea capaz de suministrar altas intensidades con un factor de operación cercano al 100% (ver capítulo 4 como recordatorio de la definición de factor de operación). Las máquinas automáticas están sometidas, en la mayoría de los casos, a un trabajo prácticamente continuo. Es un error, a menudo cometido, el emplear máquinas semiautomáticas trabajando casi al límite de su intensidad y con un "factor de operación" no superior al 60%; esto provoca continuas averías.

Para soldeo con arco sumergido se pueden utilizar:

- Fuentes de corriente continua con característica de tensión constante. Pueden ser transformadores-rectificadores o motores-generadores. Estas fuentes se emplean en combinación con un alimentador de alambre de velocidad constante. Es la más utilizada en el soldeo por arco sumergido. La velocidad de alimentación del alambre y su diámetro controlan la

intensidad de soldeo y la fuente controla el voltaje de soldeo. Este tipo de máquina es del mismo estilo que las utilizadas para el soldeo MIG/MAG y FCAW.

- Fuentes de corriente continua con característica de intensidad constante. Pueden ser transformadores-rectificadores o motores-generadores. Estas fuentes se deben emplear en combinación con un alimentador de alambre de velocidad variable que pueda producir un aumento o disminución de la velocidad del alambre cuando se produzca un cambio en la longitud del arco (y por tanto en la tensión). Son mucho más complicadas y más caras que las anteriores por lo que son menos utilizadas. La única ventaja frente a las anteriores es que la misma fuente se puede utilizar para soldeo TIG y para el soldeo con electrodo revestido.
- Fuentes de corriente alterna constituidas por transformadores. Se pueden conseguir fuentes que trabajen a 800-1500A con un "factor de operación" del 100%. No son muy empleadas las fuentes de corriente alterna, siendo las aplicaciones más comunes las que requieren intensidad de soldeo muy alta, soldeo con electrodos múltiples y aplicaciones donde el soplo magnético sea un problema.

La fuente de energía recomendada para el soldeo más elemental con corriente continua es una fuente de *tensión constante*. Se recomienda repasar el capítulo 4, donde se describen las fuentes de este tipo, y el capítulo 13 donde se han explicado características como la pendiente de la curva y la autorregulación del arco, aplicables tanto a MIG/MAG, FCAW y SAW. Se recuerda que la curva característica de una fuente de energía es la relación que existe entre la tensión y la intensidad de la máquina, mientras que la curva característica del arco es la relación entre la tensión y la intensidad del propio arco; la intersección de ambas curvas determina el punto de funcionamiento.

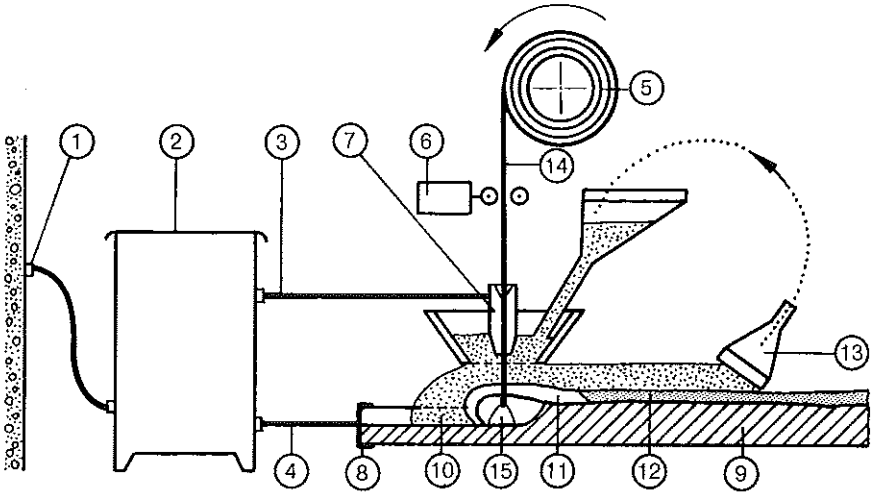
15.2.2. Sistema y panel de control

Los paneles de control utilizados en el soldeo automático pueden ser analógicos o digitales.

Los paneles de control digitales normalmente sólo se emplean en combinación con las fuentes de tensión constante. Se puede realizar control sobre: velocidad de alimentación del alambre (control de la intensidad), ajuste de la potencia suministrada (control de la tensión), marcha-paro del soldeo, en el caso de soldeo con alambre caliente controla la temperatura de éste, funciones de llenado de cráter o de comienzo progresivo del soldeo y control del suministro del fundente.

Los paneles analógicos se pueden emplear tanto en las fuentes de corriente constante como en las de tensión constante. El control básico se realiza sobre los

siguientes parámetros: control de la velocidad alimentación del alambre, (control de la intensidad en las fuentes de tensión constante y control de la tensión en las fuentes de intensidad constante), control de la potencia suministrada (tensión en las fuentes de tensión constante o intensidad en las de intensidad constante), marcha-paro del soldeo y en el caso de soldeo con alambre caliente controla la temperatura de éste. Para el correcto entendimiento de la relación entre las variables de soldeo en las fuentes de tensión constante se recomienda consultar el capítulo 13.



1. Conexión a la red
2. Fuente de energía
3. Suministro de corriente eléctrica (conexión con el alambre)
4. Suministro de corriente eléctrica (conexión con la pieza)
5. Bobina de alambre
6. Sistema de alimentación del alambre
7. Tubo de contacto
8. Conexión de masa
9. Pieza
10. Fundente en polvo
11. Escoria líquida
12. Escoria sólida
13. Sistema de recuperación de fundente
14. Alambre-Electrodo
15. Arco

FIGURA 15.3: EQUIPO PARA SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO

15.2.3. Cabezal de soldeo

Básicamente, un cabezal para soldeo SAW automático consta de los siguientes componentes:

- Sistema de alimentación de alambre, que se compone a su vez de motor-reductor, rodillos de arrastre y de presión, enderezador y guía del alambre.
- Pistola de soldeo con tubo de contacto.
- Accesorios para el montaje y posicionamiento del cabezal (deslizaderas). Normalmente una deslizadera circular y dos deslizaderas lineales. Con estas deslizaderas cubrimos el movimiento ascendente-descendente del cabezal, movimiento a izquierda y derecha e inclinación de la pistola de soldeo. Las deslizaderas pueden ser de cuatro tipos, manuales, motorizadas, flotantes u operadas neumática o hidráulicamente.
- Tolva de fundente y manguera de fundente, para suministrarle por delante del alambre y concéntricamente con él.
- Sistemas de recuperación de fundente, cuando existen están conectados a la red de aire comprimido.

El motor-reductor alimenta el alambre a velocidades comprendidas entre 8 y 240 mm/s. El sistema de alimentación del alambre puede ser de 2 rodillos o de 4. [figura 15.4 (A) y (B)]; pudiendo existir un sólo rodillo de arrastre, dos o los cuatro, el último caso proporcionará un movimiento más suave y homogéneo.

La mayoría de los alimentadores son de **velocidad constante**, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience el soldeo y permanece constante.

Por lo general, es necesario un sistema de frenado para la bobina de la cual se devana el alambre, para evitar su giro incontrolado. Los sistemas se diseñan de forma que la presión sobre el alambre pueda ser aumentada o disminuida según convenga.

Rodillos

Los rodillos más comunes son con bisel en V, se deberá seleccionar el rodillo de acuerdo con la dimensión del alambre.

Existen numerosos diseños de las pistolas para soldeo con arco sumergido, pero su propósito es siempre el mismo, guiar el alambre y transmitir la corriente de soldeo a través del tubo de contacto.

El diseño de la pistola y de los rodillos variará sustancialmente en los procesos de soldeo especiales, como soldeo con alambres múltiples o soldeo con banda. El

sistema de alimentación del alambre, en estos casos, está diseñado para montarse en los cabezales de soldeo estándar sin necesidad de realizar modificaciones, o realizando modificaciones muy simples.

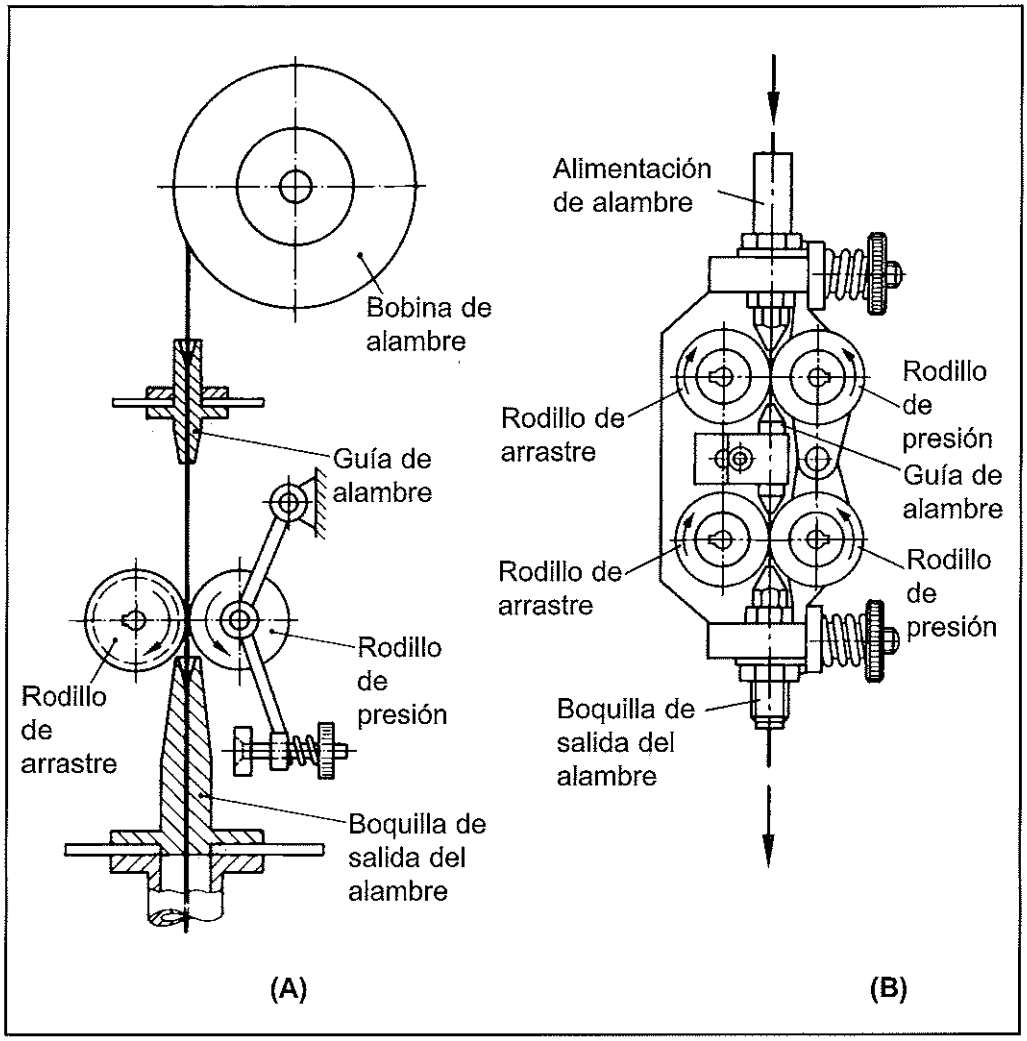


FIGURA 15.4: (A) UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE DE 2 RODILLOS.
(B) ALIMENTADOR DE ALAMBRE DE 4 RODILLOS

15.3. Metales de Aportación

Son alambres macizos de composición química generalmente similar a la del metal base. Se suministran en bobinas o bidones de peso comprendido entre 10 a 455 Kg. Aunque normalmente se utilizan alambres macizos también se pueden

utilizar alambres tubulares (generalmente rellenos de polvos metálicos). Los alambres de acero al carbono suelen estar recubiertos de cobre, excepto para aplicaciones nucleares y otras aplicaciones especiales.

15.4. Fundentes

Los fundentes utilizados en el soldeo por arco sumergido protegen el baño de fusión de la atmósfera cubriendo el metal con escoria (fundente fundido). Limpian el baño de fusión, modifican la composición química e influyen en la forma de la soldadura y sus propiedades mecánicas. Son compuestos minerales mezclados de acuerdo con una formulación determinada. Suelen ser óxidos de diferentes sustancias entre los que se encuentran la sílice, la alúmina, el óxido de sodio, óxido de potasio, óxido de calcio, fluoruro cálcico, rutilo, etc.

Muchos fundentes tienen componentes para variar la composición química del metal depositado, en este caso será muy importante mantener una relación determinada entre el metal depositado y el fundente así como controlar las variables eléctricas.

En función de la composición química los fundentes pueden ser o no adecuados para el soldeo multipasadas.

15.4.1. Fabricación del fundente

En la tabla 15.1 se clasifican los fundentes en función de su forma de fabricación, indicándose las características y limitaciones de cada uno de ellos.

15.4.2. Proceso de secado de fundentes

Los fundentes deben mantenerse secos. Los fundentes fundidos no absorben humedad aunque pueden retener algo de agua en la superficie; los fundidos aglomerados, sin embargo, sí absorben humedad por lo que deben ser protegidos y secados de la misma forma que los electrodos revestidos básicos. Siempre se deberá seguir las recomendaciones del fabricante.

En la figura 15.5 se representa la forma de almacenamiento y secado de los fundentes.

15.5. Parámetros de Soldeo

Es muy importante elegir las condiciones de soldeo adecuadas en función del espesor del material y la preparación seleccionada para conseguir soldaduras exentas de fallos.

	Fundidos	Aglomerados	Mezclados mecánicamente
Fabricación	Se mezcla la materia prima, se funde, se enfría, se machaca, se tamiza y se empaqueta.	Se pulveriza la materia prima, se mezcla y se aglomeran, se cuece (sin fundir), se muele, criba y envasa.	El fabricante o el usuario mezcla dos o más fundentes fundidos o aglomerados
Características	Composición química homogénea. Normalmente no higroscópicos (no absorben agua). Fácil reciclado sin variar su composición	Es posible la adición de desoxidantes y elementos de aleaciones para compensar pérdidas de elementos, o para obtener aleaciones no disponibles en el mercado. Baja densidad que permite una capa gruesa de fundente.	Se pueden conseguir mezclas intermedias entre las existentes en el mercado.
Limitaciones	Dificultad para añadir desoxidantes y elementos de aleación para compensar las pérdidas de elementos durante el soldeo, o alear el metalde soldadura.	Tendencia a absorber humedad de la misma manera que el recubrimiento de los electrodos revestidos	Cambios en su composición química durante su envasado, almacenamiento o manipulación

TABLA 15.1: CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FUNDENTES CLASIFICADOS EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN

Las variables del proceso que tienen que considerarse son:

- Polaridad del alambre.
- Intensidad de soldeo.
- Tensión de soldeo.
- Velocidad de soldeo.
- Diámetro del alambre.
- Extensión del alambre.
- Anchura y profundidad de la capa de fundente.

Estas son las variables que determinan el tamaño, la forma, la penetración del cordón de soldadura y la existencia de defectos como porosidad, mordeduras, falta de penetración, sobreespesor excesivo, etc.

El operador del equipo debe conocer el efecto de estas variables, para poder seleccionarlas o modificarlas consiguiendo los resultados adecuados en cada caso.

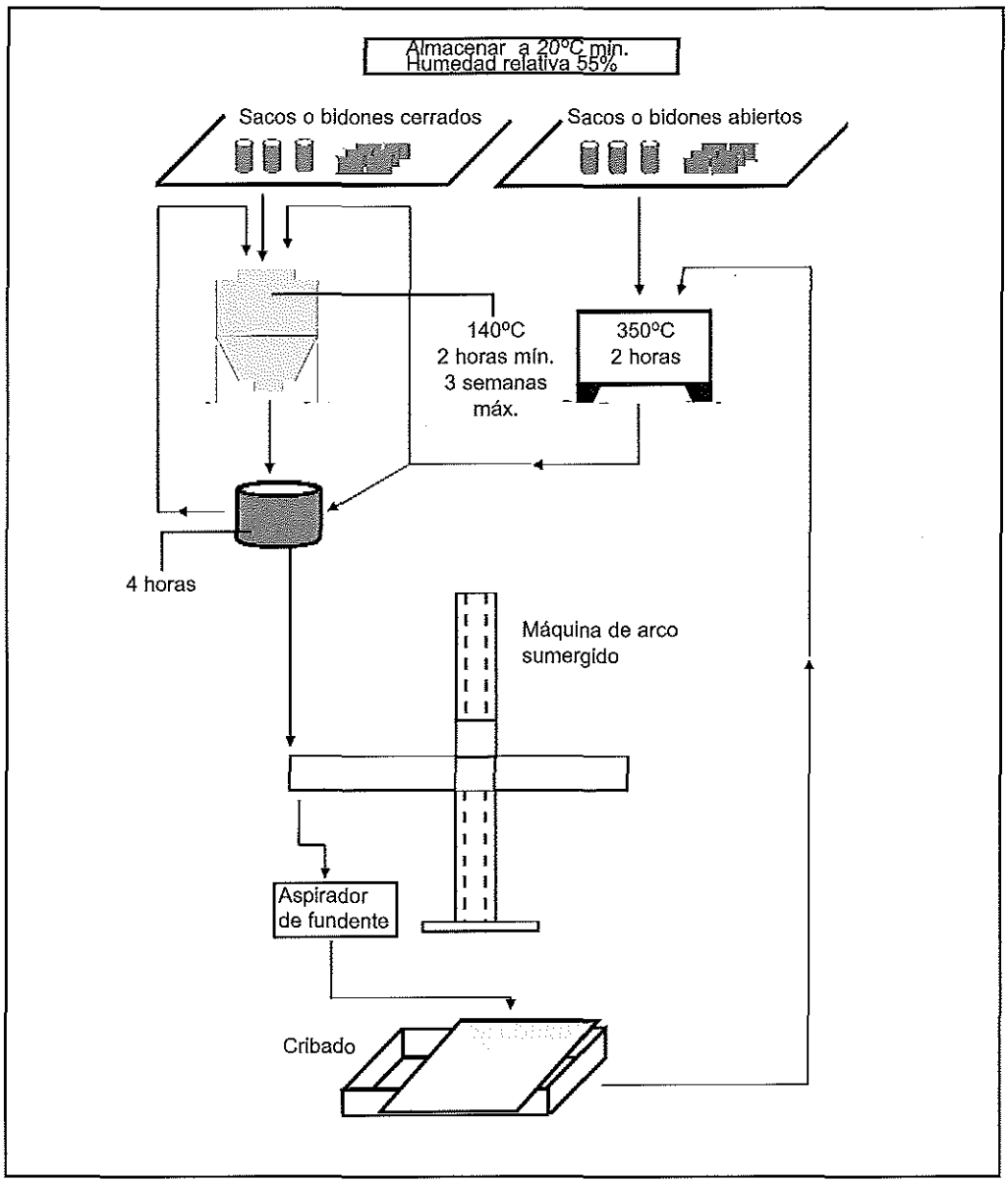


FIGURA 15.5: SECADO Y RECICLADO DE FUNDENTE

15.5.1. Relación entre los parámetros

En el aparto 13.6.1. se indica la relación existente entre los parámetros al utilizar una fuente de energía de tensión constante, que se resume en la tabla 15.2.

	Equivalente a:
Intensidad	Velocidad de alimentación del alambre Velocidad de fusión
Tensión	Longitud del arco

TABLA 15.2: RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES EN EL SOLDEO SAW

15.5.2. Tipo de corriente y polaridad

El soldeo por arco sumergido puede utilizar corriente alterna o continua, aunque con ésta última su comportamiento es más favorable. La clase de corriente y la polaridad influyen en la composición química del metal aportado y en la forma del cordón. Con la corriente alterna se obtienen unos resultados intermedios entre los obtenidos con corriente continua polaridad directa y polaridad inversa. La corriente alterna es particularmente útil cuando puede haber problemas de soplo, por ejemplo al soldar aceros ferríticos; a menudo se utiliza en el soldeo en "tandem" en el que el primer alambre puede estar conectado con corriente continua electrodo positivo y el segundo con corriente alterna.

Se obtiene mayor penetración con corriente continua electrodo positivo (CCEP, polaridad inversa), con la que también se obtiene mejor aspecto y forma del cordón y menor porosidad.

Con corriente continua electrodo negativo (CCEN, polaridad directa) se obtiene mayor tasa de deposición, menor dilución y menor penetración, por lo que se utiliza para realizar recargues o cuando la soldabilidad del metal base es muy delicada y requiere que la dilución sea muy baja. El consumo de fundente respecto al consumo respecto de alambre es menor que cuando se suelda con el electrodo en el positivo.

15.5.3. Intensidad de soldeo

Si aumenta la velocidad de alimentación del alambre aumenta la intensidad de soldeo, por tanto la tasa de deposición aumenta a medida que aumenta la intensidad de soldeo.

El efecto de la intensidad se puede resumir (ver figura 15.6):

- Un aumento de la intensidad de soldeo produce un aumento de la tasa de deposición y de la penetración.
- Una intensidad excesiva produce mordeduras o un cordón estrecho con sobreespesor o exceso de penetración.
- Si la intensidad de soldeo es demasiado baja el arco es inestable y se producirá falta de penetración.

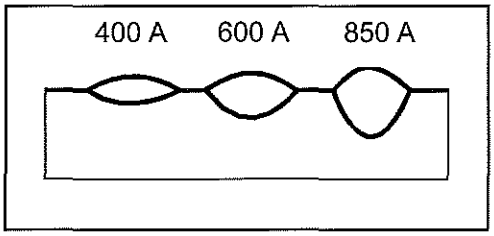


FIGURA 15.6: INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE SOLDEO EN EL ASPECTO DEL CORDÓN

15.5.4. Tensión de soldeo

El ajuste de la tensión de soldeo varía la longitud del arco, es decir la distancia entre el alambre y el baño de fusión. Si la tensión aumenta, la longitud del arco aumenta.

La tensión no influye casi en la tasa de deposición, que está determinada por la intensidad. La tensión principalmente determina la forma del cordón de soldadura. La figura 15.7 (A) muestra su efecto, al aumentar la tensión aumenta la dilución pero no la penetración.

Si la unión tiene una preparación como la mostrada en la figura 15.7 (B), con una preparación en V de ángulo pequeño, al aumentar la tensión puede disminuir la penetración, aumentando la anchura del cordón y disminuyendo el sobreespesor.

El efecto de la tensión se puede resumir en:

- Un incremento de la tensión produce un cordón más ancho y plano (con menos sobreespesor).
- Un aumento de la tensión favorece un aumento del consumo del fundente.
- Si se suelda con tensión elevada se pueden realizar soldaduras entre piezas con gran separación en la raíz, así como cuando la disposición no es la más adecuada.

- Al aumentar la tensión aumenta el número de elementos que pasan a formar parte del baño de fusión procedentes del fundente.

Una tensión de soldeo excesiva produce:

- Cordones excesivamente anchos con tendencia a formar grietas.
- Dificulta la retirada de la escoria.
- Produce soldaduras cóncavas (con falta de material) con tendencia a agrietarse.
- Aumentan las mordeduras.

Si la tensión es excesivamente baja se producen cordones abultados y se dificulta la retirada de la escoria de los bordes del cordón de soldadura.

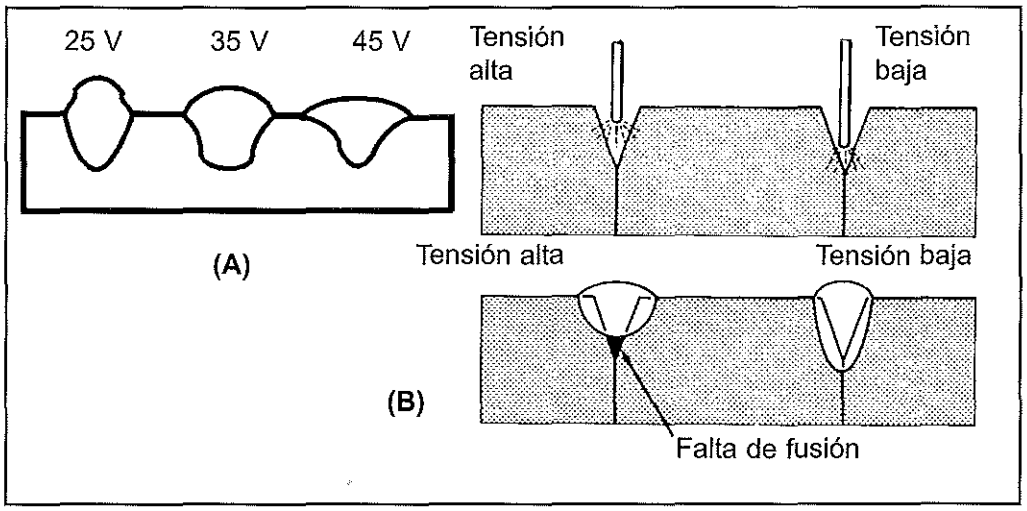


FIGURA 15.7: EFECTO DE LA TENSIÓN EN EL ASPECTO DEL CORDÓN. (A) CORDONES DEPOSITADOS SOBRE CHAPA; EN LOS TRES CASOS LA PENETRACIÓN ES LA MISMA; (B) UNIONES CON PREPARACIÓN

15.5.5. Velocidad de soldeo

Si la velocidad de soldeo aumenta:

- El calor aportado por unidad de longitud del cordón de soldadura disminuye.
- Se aplica menos cantidad de metal de aportación.

Si se suelda a gran velocidad se reduce la penetración, la anchura del cordón, aumentando la porosidad, la cantidad de mordeduras y el cordón tiende a ser más rugoso.

Si la velocidad de soldeo es demasiado baja:

- El cordón de soldadura tendrá un sobreespesor excesivo que favorece la formación de grietas (figura 15.8).
- Se formarán baños de fusión de grandes dimensiones y la inclusión de escoria será más fácil.

En las figuras 15.9 y 15.10 se representa la influencia de la velocidad de soldeo sobre el aspecto del cordón.

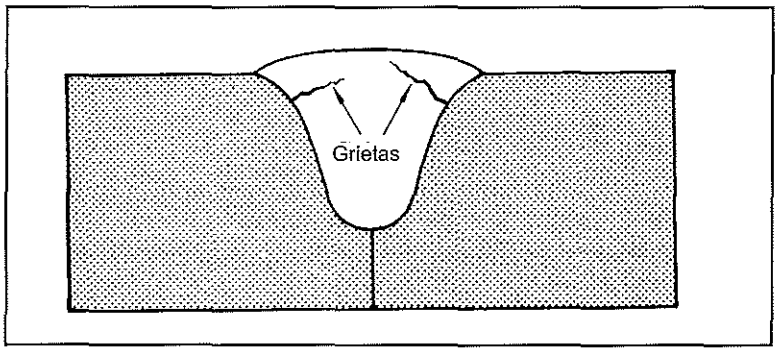


FIGURA 15.8: FORMACIÓN DE GRIETAS EN EL CORDÓN DE SOLDADURA DEBIDO A LA BAJA VELOCIDAD DE SOLDEO Y LA ALTA TENSIÓN

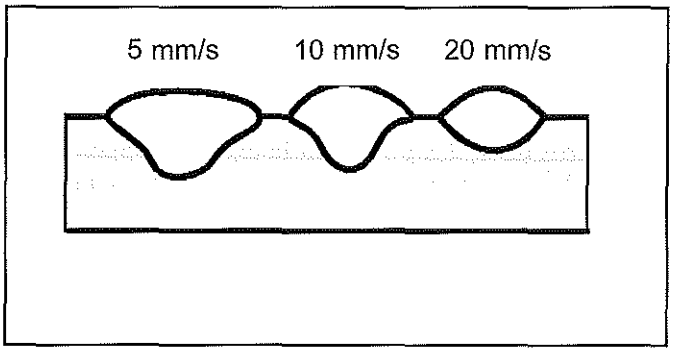


FIGURA 15.9: EFECTO DE LA VELOCIDAD DE SOLDEO SOBRE EL ASPECTO DEL CORDÓN EN PROCESO SEMIAUTOMÁTICO

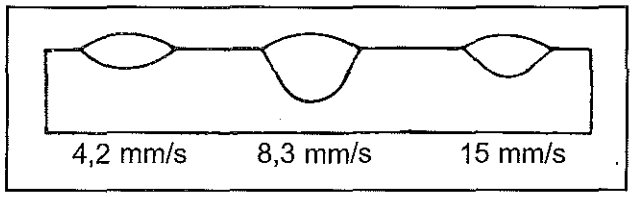


FIGURA 15.10: EFECTO DE LA VELOCIDAD DE SOLDEO EN EL ASPECTO DEL CORDÓN EN PROCESO AUTOMÁTICO

15.5.6. Diámetro del alambre

Para una misma intensidad, cuanto menor es el diámetro del alambre mayor es la tasa de deposición, sin embargo cuanto mayor es el diámetro del alambre mayor es la intensidad que soporta, por tanto también podrá aumentarse la tasa de deposición aumentando el diámetro del alambre. Si la tasa de deposición deseada es mayor que la que el motor de alimentación del alambre puede suministrar, cambiando el diámetro del alambre a uno mayor puede conseguirse la tasa deseada.

15.5.7. Extensión del alambre

Cuanto mayor es la extensión del alambre mayor es la tasa de deposición y menor la penetración, por tanto para aumentar la tasa de deposición con una intensidad determinada, puede aumentarse la extensión del alambre.

Se recuerda que se debe mantener el tubo de contacto en perfecto estado reemplazándolo cada cierto tiempo para asegurar las condiciones de soldeo.

Se recomiendan las siguientes extensiones máximas del alambre:

- Para diámetros de 2; 2,4 y 3,25 mm la extensión máxima será de 75 mm y un poco menos para acero inoxidable.
- Para diámetros de 4; 4,8 y 5,6 mm la extensión máxima será de 125 mm, disminuyéndola también en el caso de aceros inoxidables.

15.5.8. Anchura y profundidad de la capa de fundente

Si la capa de fundente es muy alta y estrecha puede provocar la formación de cordones con aspecto irregular y distorsionado pudiendo contener poros.

Si la capa de fundente es muy fina se pueden producir proyecciones y radiaciones provocando una apariencia pobre y porosidad.

Para determinar la cantidad adecuada de fundente se puede incrementar poco a poco la cantidad a utilizar hasta que el arco quede completamente sumergido.

15.6. Técnicas Operativas

Se tendrán en cuenta las recomendaciones generales sobre punteado indicadas en los capítulos 10 y 21.

15.6.1. Empleo de respaldo

En el soldeo por arco sumergido se produce una gran cantidad de metal fundido. Este metal líquido debe soportarse de alguna forma hasta que solidifique, ya que por sí solo muchas veces no es capaz y puede perderse su control.

En la tabla 15.3 se explican, brevemente, los diferentes métodos para soportar el metal líquido cuando se requiere penetración completa.

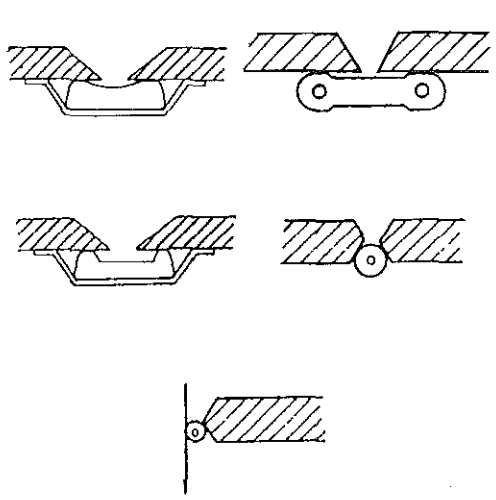
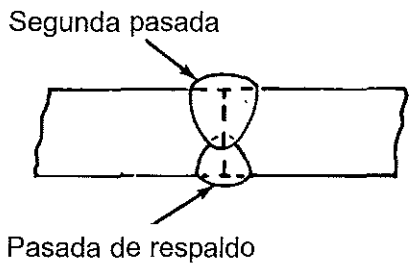
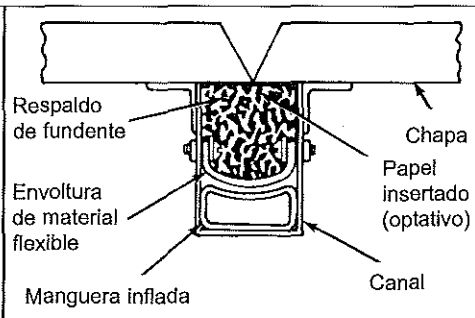
Método de respaldo	Gráfico
Placas de respaldo En este caso la soldadura se apoya en una placa metálica o cerámica, si es metálica la placa puede fundir con el cordón de soldadura y puede llegar a ser una parte integrante de la pieza de forma permanente. Las placas de respaldo, en cualquier caso, deben ser compatibles con el metal a ser soldado. Las placas de respaldo cerámicas suelen ser en forma de barras y en forma de placas, con ranura curva o plana muchas veces ensambladas en cinta de aluminio. Nota: El respaldo puede pertenecer a la unión.	 Disposiciones típicas de las placas de respaldo

TABLA 15.3: MÉTODOS PARA SOPORTAR EL METAL LÍQUIDO DURANTE EL SOLDEO. RESPALDOS

<table>
<tr><th>Método de respaldo</th><th>Gráfico</th></tr>
<tr><td>Cordones de soldadura de respaldo
En algunas ocasiones se realiza la soldadura de la raíz con otros procesos como FCAW, GMAW, SMAW, estas soldaduras servirán de respaldo a las siguientes realizadas con SAW.
La pasada de raíz de respaldo puede permanecer como parte de la unión o ser retirada.
Nota: El respaldo puede pertenecer a la unión.</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Placas de respaldo de cobre
Algunas veces se utilizan placas de respaldo de cobre que no deberán fundir con el metal de soldadura. Por eso se usan de cobre, por su gran conductividad térmica que impedirá la fusión de la placa; a veces las placas van refrigeradas por agua dificultando aún más su fusión; de todas formas la masa de la placa de respaldo será la suficiente para evacuar el calor necesario que evite la fusión de la misma.
Nota: El respaldo se retira.</td></tr>
<tr><td>Respaldo de fundente
A veces se emplea como respaldo para el soldeo por arco sumergido fundente sometido a una cierta presión. El fundente se dispone en una envoltura de material flexible y por debajo se sitúa una manguera inflada que suministra una presión moderada por la raíz de la soldadura.
Nota: El respaldo se retira.</td><td> 

Método para situar el respaldo de fundente en el soldeo por arco sumergido</td></tr>
</table>

TABLA 15.3 (CONTINUACIÓN): MÉTODOS PARA SOPORTAR EL METAL LÍQUIDO DURANTE EL SOLDEO. RESPALDOS

15.6.2. Empleo de apéndices

Se pueden utilizar apéndices de soldadura para iniciar y finalizar la unión y para proporcionar un medio de soportar el baño de fusión, el fundente y la escoria (figura 15.1); el material de los apéndices debe ser compatible con el material base

y deberán tener la misma preparación, además deberán tener la anchura suficiente para soportar el fundente.

15.6.3. Soldeo circunferencial

El soldeo circunferencial difiere del realizado sobre chapa en posición plana por la tendencia que tiene el baño de fusión y el fundente a resbalar por efecto de la gravedad, separándose del arco. Para prevenir desprendimientos o distorsiones del cordón de soldadura, éste deberá solidificar antes de que pase por la posición más baja o más alta del tubo, dependiendo de si la soldadura es exterior o interior. La forma del cordón de soldadura depende de la posición del alambre. Un desplazamiento respecto a la vertical muy pequeño para el soldeo exterior, o muy grande en el caso del soldeo por el interior, producirá una soldadura muy estrecha, con penetración muy grande y con exceso de sobreespesor [ver figura 15.11 (B)]. Cuando el desplazamiento respecto a la vertical es muy grande en el soldeo por el exterior, o muy pequeño para el soldeo interior, produce una soldadura muy ancha y cóncava [ver figura 15.11 (C)].

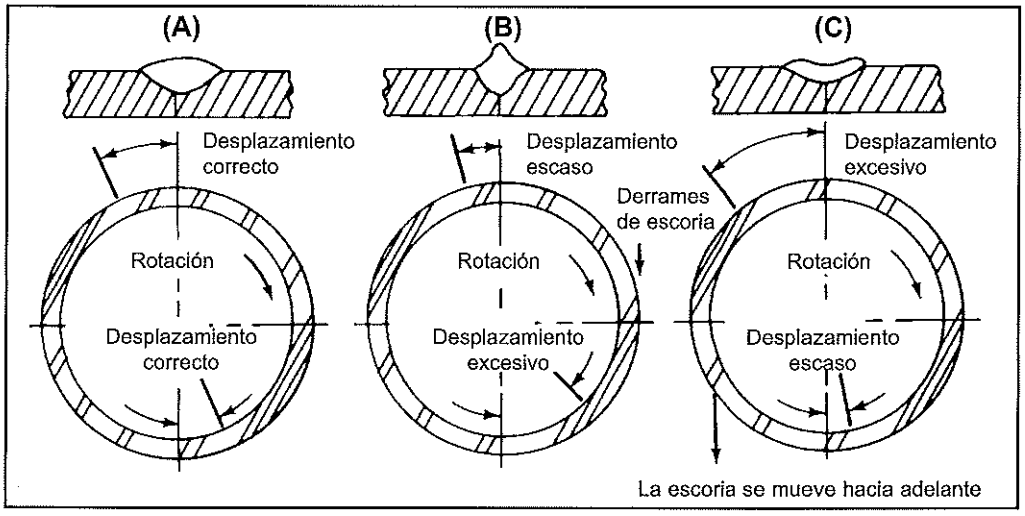


FIGURA 15.11: EFECTO DE LAS POSICIONES DEL ELECTRODO SOBRE LA FORMA DEL CORDÓN DE SOLDADURA DURANTE EL SOLDEO CIRCUNFERENCIAL

Si la tubería posee un diámetro muy pequeño, el fundente resbalará y no protegerá suficientemente la unión. Un método de solucionar el problema es utilizar una boquilla dispuesta concéntricamente con el alambre, también se puede emplear un cepillo de alambre de acero compatible con el material base flexible y que resista el calor, que se dispondrá por delante del punto de soldeo sujetando el fundente.

También se deberá tener en cuenta los parámetros de soldeo, evitando intensidades excesivas que producirían baños de fusión muy grandes con tendencia a resbalar.

15.6.4. Posición del alambre

Para determinar la posición adecuada del alambre se deben considerar tres factores:

- Su alineación en relación a la unión.
- El ángulo de inclinación en dirección lateral; el ángulo de trabajo.
- El ángulo de desplazamiento, que determina si el soldeo se realiza hacia atrás o hacia adelante.

15.6.5. Cebado del arco y terminación del soldeo

Existen varios métodos para cebar el electrodo; la elección del método dependerá del tiempo asignado a las labores de iniciación de la soldadura respecto al tiempo total del soldeo, el número total de piezas a ser soldadas, el tipo de fuente de energía disponible y la importancia de la disposición de los puntos de soldadura en un determinado lugar de la unión.

Cebado con bola de lana de acero

Se puede disponer una bola de lana de acero compacta que en el caso del soldeo de acero inoxidable deberá ser también de acero inoxidable, suele ser de unos 10 mm de diámetro y se dispone en la parte inferior del electrodo. Se hace descender el alambre hasta que la bola se comprime hasta la mitad de su altura inicial, se aplica el fundente y se inicia el soldeo. La bola de acero se funde con rapidez cebando el arco.

Cebado con alambre afilado

El alambre se corta para configurar en su extremo un punta afilada. Se le hace descender con esta forma hasta que la punta contacta con la pieza, se aplica el fundente y comienza el soldeo, la punta del alambre funde con gran facilidad y se consigue el cebado del arco.

Cebado por raspado

Se hace descender el alambre hasta que entra en contacto con la pieza y se aplica el fundente. Se le hace mover en la dirección de soldeo y se aplica la intensidad de soldeo.

Cebado por fundente fundido

Siempre que exista un baño de fundente el arco puede ser cebado introduciendo simplemente el alambre dentro del baño de fundido, este método se suele emplear cuando se suelda con alambres múltiples, en este caso basta con cebar uno de los alambres, los otros establecerán el arco simplemente introduciéndose en el baño fundido.

Cebado mediante electrodo retráctil

Para utilizar este método el equipo de soldeo debe estar diseñado a tal efecto. Es un método adecuado cuando la disposición del cebado del arco tiene cierta importancia.

La práctica normal es descender el alambre hasta que éste contacta con la pieza, entonces se cubre con el fundente y se aplica la intensidad de soldeo, la baja tensión existente manda una señal al alimentador de alambre que separa el electrodo de la pieza, a medida que la tensión aumenta el motor de alimentación cambia el sentido para alimentar el alambre hacia la superficie de la pieza. La velocidad de alimentación del alambre se estabiliza.

Cebado por alta frecuencia

Este método requiere una fuente de alta frecuencia, sin embargo no necesita la manipulación de ningún operario y es muy útil cuando la operación de soldeo es intermitente.

Cuando el alambre está muy cerca de la pieza, aproximadamente a 1 ó 2 mm de ésta, el generador de alta frecuencia produce impulsos de alta tensión y alta frecuencia y se consigue el cebado del arco.

Terminación del soldeo

En algunas máquinas de soldeo, la máquina detiene tanto el suministro eléctrico como el movimiento de la máquina, cortando de forma brusca la soldadura. En otras, sin embargo, la máquina deja de moverse en la dirección de la soldadura pero sigue el suministro de alambre durante un tiempo predeterminado. Otro tipo de sistema invierte la dirección de soldeo durante una determinada longitud mientras el soldeo continua. En los dos últimos casos se produce el llenado del cráter.

15.6.6. Retirada de la escoria

Se deberá realizar al final de la soldadura y entre pasadas en las uniones multipasada. Se evitarán los cordones de soldadura excesivamente convexos y abultados que dificultan, también entre pasadas, la retirada de la escoria.

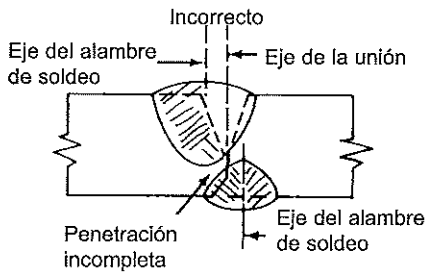
5.7. Defectos Típicos en las Soldaduras

Defecto: Porosidad	
Causas	*Remedios*
- Material base contaminado.	- Extremar la limpieza del material base.
- Alambres contaminados o sucios.	- Desengrasar - Evitar la suciedad en el taller.
- Velocidad de soldeo elevada.	- Ajustar la velocidad de desplazamiento.
- Insuficiente cantidad de fundente.	- Utilizar la cantidad de fundente adecuada.
- Contaminantes en el fundente.	- Recuperación del fundente controlada.
- Fundente atrapado en la zona inferior de la unión tras la(s) primera(s) pasada(s).	- Realizar una limpieza adecuada.
- Residuos de escoria en las pasadas de raíz realizados con electrodo revestido.	- Realizar una limpieza adecuada.
Defecto: Falta de fusión o de penetración NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base. Solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.	
Causas	*Remedios*
- Parámetros de soldeo no adecuados.	- Aumentar la intensidad. - Reducir la velocidad de soldeo. - Disminuir la extensión. - Reducir el diámetro del alambre. - Elegir polaridad directa.
- Diseño inapropiado de la unión.	- Aumentar la separación de la raíz. - Reducir el talón.

Defecto: Falta de fusión o de penetración

NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base. Solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.

Causas	*Remedios*
- Alambre no centrado con respecto a la unión.	- Centrar el alambre.

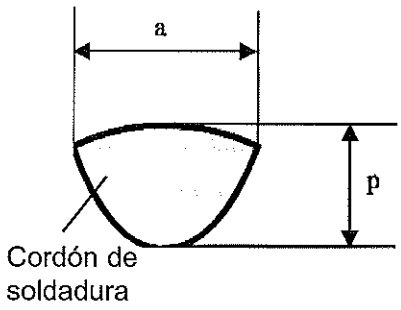


Defecto: Mordeduras

Causas	*Remedios*
- Intensidad excesiva.	- Disminuir la intensidad para que el calentamiento de la pieza sea menor.
- Velocidad de avance excesiva.	- Disminuir la velocidad de avance.

Defecto: Grietas situadas normalmente en el centro del cordón

Causas	*Remedios*
- Cordones excesivamente profundos o altos.	- Mantener la anchura de cada cordón (a) mayor que su altura (p). Corregir la geometría de la unión o las variables de soldeo (reducir la intensidad y la velocidad)

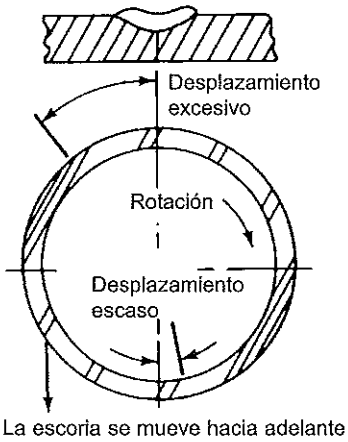


Defecto: Grietas situadas normalmente en el centro del cordón	
Causas	*Remedios*
- Embridamiento excesivo.	- Reducir el embridamiento. - Precalentar. - Utilizar un metal de aporte más dúctil. - Realizar un martillado.
- Inclusión de hidrógeno.	- Secar el fundente siguiendo las recomendaciones del fabricante. - Limpiar los restos de grasa o suciedad del alambre. - Aumentar la temperatura de la pieza para permitir la salida del hidrógeno, precalentando o realizando un postcalentamiento a baja temperatura.
Defecto: Inclusiones de escoria	
Causas	*Remedios*
- Mala limpieza entre cordones.	- Extremar la limpieza de las soldaduras.
- Intensidad de corriente muy baja.	- Aumentar la intensidad para que la escoria se funda y flote en el baño.
- Cordones mal distribuidos.	- Distribuir los cordones de forma que no queden estrías muy profundas donde pueda quedarse atrapada la escoria.
- Baja tensión de soldeo que produce cordones muy abultados donde puede quedar escoria atrapada en los bordes.	- Soldar con la tensión adecuada.
Defecto: Perforaciones	
Causas	*Remedios*
- Intensidad muy elevada.	- Disminuir la intensidad para evitar la perforación de la chapa.
- Movimiento de avance muy lento.	- Aumentar la velocidad de avance.

Defecto: Perforaciones

Causas	*Remedios*
- Bordes de las chapas muy separados.	- Disminuir la separación entre los bordes.
- Metal base muy caliente.	- Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.

Defecto: Falta de material o relleno insuficiente del chaflán

Causas	*Remedios*
- Disposición inadecuada del alambre en las soldaduras circunferenciales.	- Escoger la posición adecuada del alambre.
	
- Velocidad excesiva.	- Disminuir la velocidad de avance.

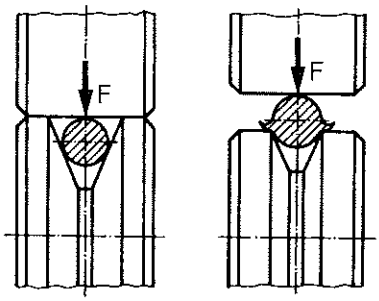
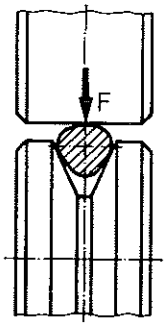
Defecto: Exceso de metal aportado

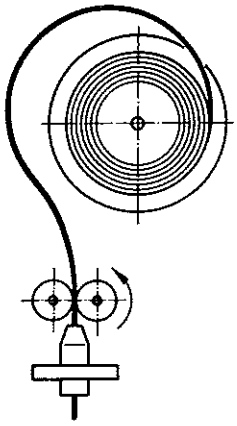
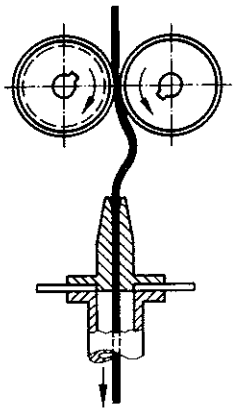
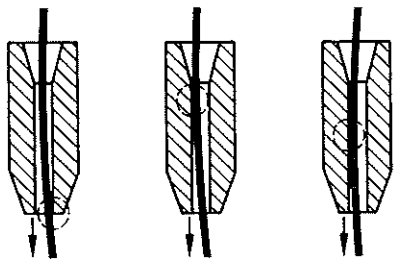
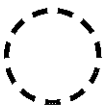
Causas	*Remedios*
- Diámetro de alambre demasiado grueso.	- Utilizar alambre de menor diámetro.
- Velocidad de avance muy lenta.	- Aumentar la velocidad de avance.

Defecto: Cordón irregular	
Causas	*Remedios*
- Intensidad excesiva.	- Disminuir la intensidad.
- Tensión muy baja.	- Aumentar la tensión.
- Avance irregular del alambre.	- Dar más presión a las ruletas de arrastre del alambre. Cambiar las guías si están desgastadas. Cambiar el tubo de contacto si está desgastado, o si tiene irregularidades en su interior.

Nota: En cuanto a los fallos de la fuente de energía son los mismos que los explicados en el capítulo 13.

15.8. Fallos en el Equipo. Causas y Consecuencias

Componente	Causa del Fallo
Rodillos de la unidad de alimentación 	Tamaño del perfil del rodillo demasiado grande o que ha dado de sí por el uso. Rodillo muy pequeño.
Presión del rodillo de alimentador de alambre 	Presión de contacto demasiado ligera. Presión de contacto demasiado fuerte que produce excesivo rozamiento o deforma al alambre.

Componente	Causa del Fallo
Bobina de alambre 	Freno demasiado débil Freno demasiado fuerte.
Guía del alambre 	Distancia desde el rodillo alimentador muy grande o avellanado del taladro muy grande.
Tubo de contacto 	Tubo de contacto con taladro demasiado grande o desgastado por rozamiento.  punto de contacto Taladro demasiado pequeño. Tubo de contacto deteriorado por la excesiva tensión de soldeo.

Capítulo 16

Soldeo por Resistencia

INDICE

16.1. Principios del proceso 378

16.2. Ciclo de soldeo 379

16.3. Variables del proceso de soldeo 379

16.4. Procesos de soldeo por resistencia 380

16.4.1. Soldeo por puntos 380

16.4.2. Soldeo por protuberancias 382

16.4.3. Soldeo por roldanas 384

16.5. Equipo de soldeo por resistencia 386

16.6. Electrodos y mordazas 386

16.1. Principios del Proceso

En los procesos de soldeo por resistencia el calor se genera por medio de una corriente eléctrica de elevada intensidad que se hace circular con ayuda de dos electrodos durante un corto espacio de tiempo, a través de la unión que se desea soldar. Los metales que constituyen la unión ofrecerán una resistencia al paso de esta corriente y, por tanto, se generará un calor, que será máximo en la intercara de las piezas (zona de unión) ya que la resistencia al paso de la corriente también es máxima en dicha zona. (Ver Ley de Joule capítulo 2).

En este proceso de soldeo, a parte de requerirse el paso de una corriente eléctrica, es necesario aplicar una presión durante y después del paso de la corriente para conseguir la unión de los metales.

El calor generado va a ser **función** de la capacidad de la máquina, del material a soldar y de su espesor, de la presión aplicada y del reglaje de los parámetros (clase de corriente eléctrica, intensidad de la corriente de soldeo, tiempo de soldeo).

Los principales **procesos de soldeo** por resistencia que existen son los siguientes:

- Por puntos.
- Por proyección, resaltes o protuberancias.
- Por roldanas.
- A tope.
- Por chisporroteo.

En la tabla 16.1 se indican las denominaciones según UNE-EN ISO 4063 y AWS A3.0 de los diferentes procesos de soldeo.

UNE-EN ISO 4063	AWS A3.0
2, Soldeo por resistencia	RW, Resistance Welding
21, Soldeo por puntos por resitencia	RSW, Resistance Spot Welding
22, Soldeo de costuras por resistencia	RSEW, Resistance Seam Welding
23, Soldeo por proyección o por protuberancias	PW, Projection Welding
24, Soldeo por chispa o por chisporroteo	FW, Flash Welding
25, Soldeo a tope por resistencia, soldeo por recalcado	UW, Upset Welding

TABLA 16.1: DENOMINACIÓN DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE SOLDEO POR RESISTENCIA

16.2. Ciclo de Soldeo

El ciclo de soldeo viene determinado por la secuencia de operaciones hasta conseguir la unión de los metales.

Las fases son:

- Posicionamiento.
- Fase de soldeo.
- Fase de mantenimiento.
- Fase de cadencia o de relajación.

Durante la **fase de posicionamiento**, se ejerce sobre los electrodos una presión tal que obligue a las superficies, que van a soldarse posteriormente, a permanecer unidas.

En la **fase de soldeo**, se hace pasar una corriente eléctrica aplicando una diferencia de potencial a los electrodos mientras se mantiene la presión entre ellos. La presión durante esta fase suele ser ligeramente inferior a la ejercida en la fase de posicionamiento. Cuando se ha alcanzado la temperatura requerida para soldar (en el caso del acero y dependiendo del tipo de éste es de 1500°C a 1700°C), se corta el paso de corriente y se incrementa la presión que se estaba ejerciendo sobre los electrodos, iniciándose entonces la **fase de mantenimiento.**

Por último, viene la **fase de cadencia** durante la cual se reduce la presión hasta liberar las piezas ya soldadas.

Algunas veces se utiliza el calor para realizar tratamientos térmicos, como precalentamientos previos a la fase de soldeo o tratamientos postsoldeo.

16.3. Variables del Proceso de Soldeo

Las principales variables del soldeo por resistencia son:

- Clase de corriente eléctrica.
- Intensidad de la corriente de soldeo.
- Tiempo de soldeo.
- Resistencia eléctrica de la unión.
- Presión aplicada.

La **corriente eléctrica** más utilizada es la alterna tanto monofásica como trifásica. La corriente alterna, de gran intensidad y baja tensión, se genera en el secundario de un transformador y se aplica a las piezas a soldar por medio de sendos electrodos de contacto, refrigerados por aire o agua.

Los parámetros que definen una corriente eléctrica de soldeo por resistencia están comprendidos en los intervalos siguientes:

- Tensión: entre 1 y 30 voltios.
- Intensidad: entre 1000 y 100000 amperios.
- Frecuencia: estándar (50 Hz en Europa y 60 Hz en USA) excepto para el procedimiento de alta frecuencia en la que oscila entre 10000 y 500000 Hz.

Observando la expresión de la ley de Joule ($Q = I^2 . R . T$) se observa que la intensidad de soldeo es el factor de mayor influencia en la generación de calor, por tanto es el que más cuidadosamente hay que controlar. Será necesario alcanzar un valor mínimo para que los metales a unir se fundan, sin superar un valor máximo que llevaría a un exceso de fusión y salpicaduras debidas a la presión de los electrodos.

El **tiempo de soldeo** es el tiempo durante el cual está circulando la corriente de soldeo. Valores típicos están comprendidos entre 0,1 y varios segundos.

La **presión aplicada** durante la fase de forja puede ser aplicada directamente por los electrodos o a través de otros elementos.

La influencia de la presión se manifiesta en la resistencia eléctrica, que disminuye al aumentar la presión, y en el efecto de forja sobre el núcleo solidificado procedente del metal fundido, que le confiere una estructura de grano fino y otras cualidades propias de los metales forjados.

La fuerza que se aplica a los electrodos varía entre los 100 y 500 kg, pudiendo sobrepasar este valor en algunos casos. La fuerza se desarrolla por la acción de un sistema neumático o hidráulico.

16.4. Procesos de Soldeo por Resistencia

16.4.1. Soldeo por puntos

La figura 16.1 representa, de forma esquemática, la realización de un punto de soldadura por resistencia eléctrica. Para ello, los materiales de base se disponen

solapados entre sendos electrodos, que tienen la misión de aplicar secuencialmente la presión y la corriente correspondientes al ciclo, produciéndose un punto de soldadura de forma lenticular.

El punto de soldadura se localiza bajo los electrodos y en la superficie de contacto de los dos materiales, por ser la zona de mayor resistencia eléctrica y por tanto la zona donde se genera mayor calor.

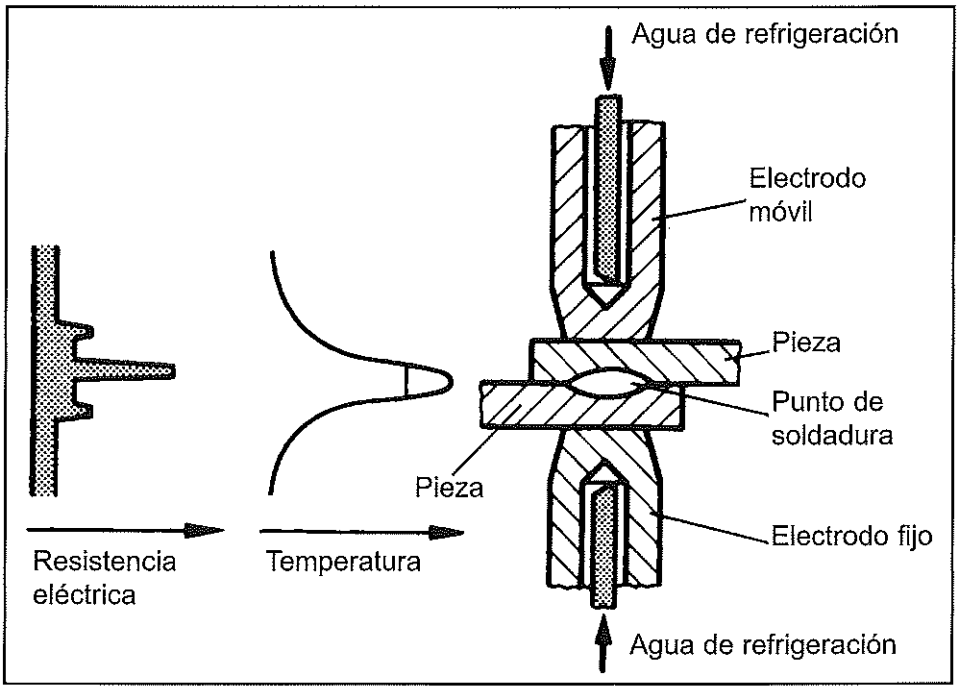
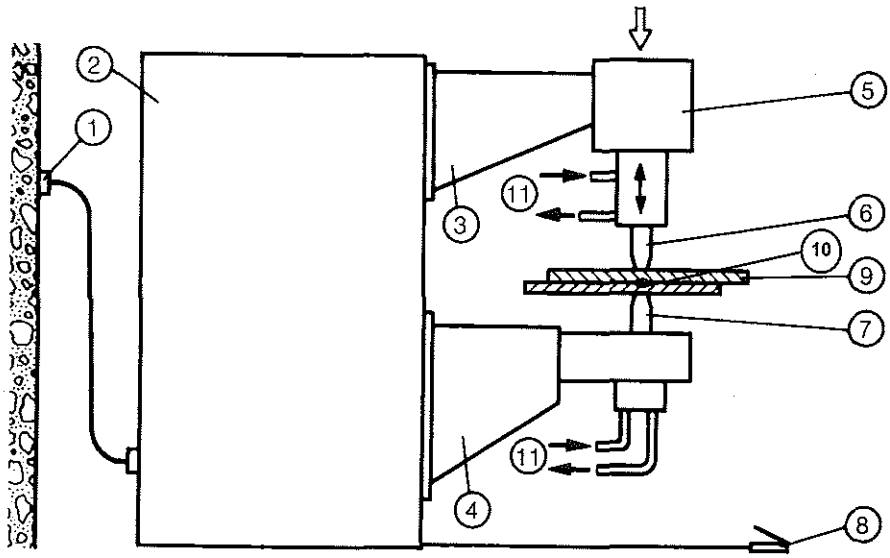


FIGURA 16.1: SOLDEO POR PUNTOS

El soldeo por puntos se realiza con máquinas como la que se muestra de forma esquemática en la figura 16.2.

El soldeo por puntos, al igual que el resto de los procedimientos de soldeo por resistencia eléctrica, se realiza con un **alto grado de automatización**, particularmente en lo que se refiere a la aplicación secuencial de la presión y de la corriente.

Tiene sus principales **aplicaciones** en la fabricación de carrocerías de automóviles, electrodomésticos y muebles metálicos. El procedimento es adecuado para soldar componentes de acero al carbono, acero inoxidable, aluminio y cobre, de espesores comprendidos entre 0,1 y 20 mm; aunque el espesor máximo de las aplicaciones más frecuentes es de 8 mm.



① Conexión a la red
② Fuente de energía
③ Brazo superior
④ Brazo inferior
⑤ Cilindro hidráulico o neumático para aplicación de presión
⑥ Electrodo de cobre (móvil)
⑦ Electrodo de cobre (fijo)
⑧ Interruptor de pedal
⑨ Piezas
⑩ Punto de soldadura
⑪ Agua de refrigeración

FIGURA 16.2: EQUIPO DE SOLDEO POR PUNTOS

16.4.2. Soldeo por protuberancias

El **soldeo por protuberancias** es una forma de unión que se deriva del clásico procedimiento de soldeo por puntos.

Consiste en practicar previamente resaltes en uno de los materiales de base, y a veces en ambos, en los lugares donde se desea que exista un punto de soldadura. El

objeto de tales resaltes es una mejor distribución de la corriente y concentrar el área de aplicación de la fuerza ejercida por medio de los electrodos (ver figura 16.3).

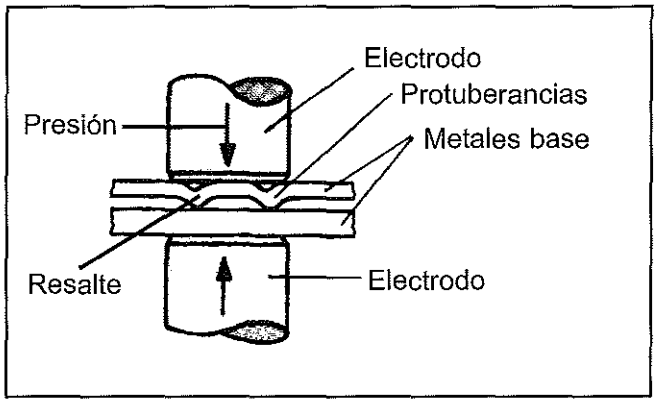


FIGURA 16.3: SOLDEO POR PROTUBERANCIAS

En el soldeo por proyecciones, el paso de la corriente dentro del material no viene determinada por las dimensiones de los **electrodos** como es el caso del soldeo por puntos, sino por las dimensiones de las **protuberancias**.

En este proceso, habitualmente los electrodos son de mayor diámetro que en el soldeo por puntos, cubriendo a la vez varios resaltes.

Se aplica a una amplia variedad de componentes, normalmente de formas complicadas cuyos espesores oscilan entre 0,5 y 6 mm. Los resaltes suelen hacerse por embutición, hasta 2,5 mm, y por mecanizado para espesores mayores de 2,5 mm.

A veces se aprovechan las protuberancias **naturales** que algunas piezas por su geometría presentan.

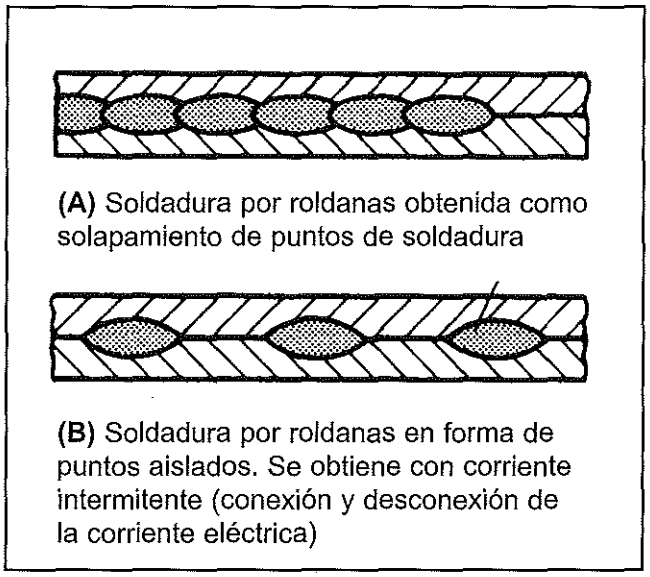
La fuerza o presión (esfuerzo de compresión) debe ser aplicado firmemente sobre la protuberancia, con el fin que ésta tenga un buen contacto con la chapa que va a ser soldada. El esfuerzo de compresión aplicado debe asegurar un aplastamiento completo de la protuberancia una vez haya sido soldada.

Algunas **aplicaciones** del soldeo por protuberancia son: soldeo de placas, chapas y piezas embutidas sobre tubos, soldeo de tuercas y vástagos roscados, soldeo de tubos o de alambres en cruz y de alambres sobre tubos y soldeo de artículos de cocina.

16.4.3. Soldeo por roldanas

En el **soldeo eléctrico por roldanas**, igual que en los casos anteriores, es el efecto del paso de una corriente eléctrica y la aplicación de una presión las causantes de la unión metalúrgica de los materiales a soldar.

El soldeo por roldanas es una variante del soldeo por puntos en la que se obtienen una serie de puntos solapados [ver figura 16.4 (A)] o aislados [ver figura 16.4 (B)].



(A) Soldadura por roldanas obtenida como solapamiento de puntos de soldadura

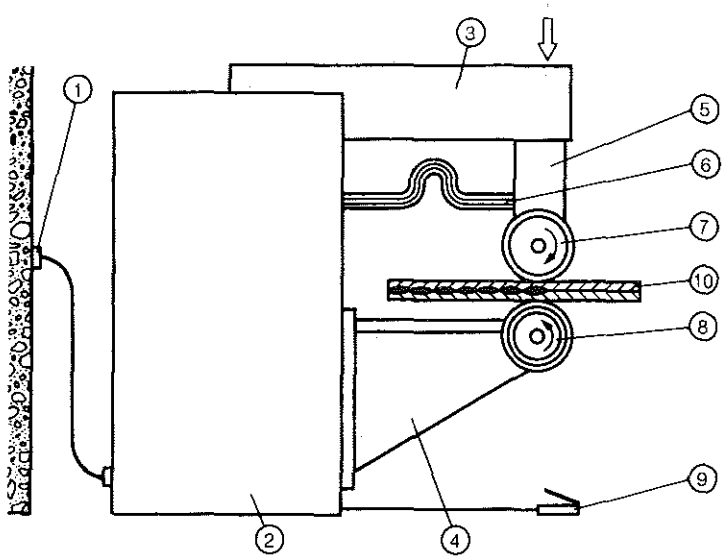
(B) Soldadura por roldanas en forma de puntos aislados. Se obtiene con corriente intermitente (conexión y desconexión de la corriente eléctrica)

FIGURA 16.4: SOLDADURAS POR ROLDANAS

En este procedimiento los electrodos son roldanas que, además de aplicar la fuerza y corriente eléctrica, arrastran en su giro a los materiales base (ver figura 16.5).

El objetivo de este proceso mediante el solapamiento de los puntos, es el de producir soldaduras **lineales** que permiten una gran **estanqueidad**, como es el caso de la fabricación de **depósitos** y **bidones** (en general de 0,05 a 3 mm de espesor) de cualquier material en posición plana.

(A)



①	Conexión a la red	⑥	Suministro de corriente eléctrica
②	Fuente de energía	⑦	Roldana superior
③	Brazo superior	⑧	Roldana inferior
④	Brazo inferior	⑨	Interruptor de pedal
⑤	Cilindro hidráulico o neumático para aplicación de presión	⑩	Piezas
		⑪	Soldadura por roldanas

(B)

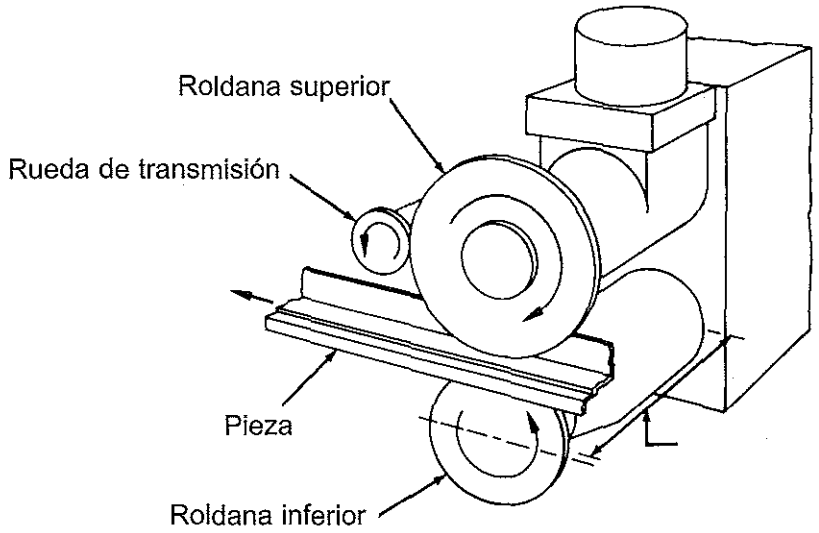


FIGURA 16.5: (A) MÁQUINA DE SOLDEO POR ROLDANAS. (B) DETALLE DE LAS ROLDANAS

16.5. Equipo de Soldeo por Resistencia

El equipo necesario para el soldeo por resistencia consta principalmente de tres **elementos**:

- Un **circuito eléctrico,** que consiste en un transformador, y un circuito secundario, que consiste en los electrodos que permiten la conducción de la corriente eléctrica.
- Un **sistema mecánico** que permita, bien a través de un sistema hidráulico o neumático, ejercer sobre los materiales a soldar la presión necesaria para favorecer la unión.
- Un **sistema de control** que permita regular el tiempo de paso de la corriente eléctrica, la secuencia de tiempos y la magnitud de la corriente eléctrica aplicada.

16.6. Electrodos y Mordazas

Las herramientas que son más empleadas, y por ello tienen un mayor desgaste, son los **electrodos**, los cuales pueden tener diferentes formas y tamaños, dependiendo del tipo de soldeo.

Un electrodo de soldeo puede prestar las siguientes **funciones**:

- Conducir la corriente eléctrica hacia todas las partes del sistema.
- Transmitir la presión de soldeo.
- Fijar y soportar los materiales a soldar alineados.
- Retirar el calor que se produce en la zona soldada a zonas adyacentes.

Por tanto, los materiales adecuados para fabricar electrodos deben conducir muy bien la electricidad y el calor, debiendo tener una resistencia mecánica adecuada para soportar la presión aplicada.

Todos los electrodos **soportan** una **gran densidad de corriente** (de 8 a 120 A/mm^2), al igual que elevadas presiones y el **impacto** en el momento del ajuste.

El material utilizado para los electrodos suele ser cobre o alguna aleación de base cobre; a veces se utilizan aleaciones refractarias (de cobre-volframio o de cobre-molibdeno) o materiales refractarios puros (molibdeno, volframio) cuando los materiales a soldar son de gran resistencia. Los electrodos suelen ir refrigerados por agua y en algunos casos por aire.

Capítulo 17

Soldeo Fuerte y Blando

INDICE

17.1. Principios de los procesos 388

17.1.1. Descripción 388

17.1.2. Aplicaciones, ventajas y limitaciones 388

17.2. Metal de aportación 390

17.2.1. Método de aplicación del metal de aportación 393

17.3. Fundentes 394

17.4. Atmósferas controladas 396

17.5. Diseño de la unión 396

17.6. Preparación de las piezas antes de su soldeo 398

17.6.1. Limpieza 398

17.6.2. Recubrimiento de superficies 398

17.7. Procesos de soldeo fuerte y soldeo blando 399

17.7.1. Soldeo fuerte y soldeo blando con soplete 399

17.8. Cobresoldeo 401

17.9. Defectos típicos en las soldaduras 402

17.1. Principios de los Procesos

17.1.1. Descripción

El soldeo fuerte y el soldeo blando consisten en realizar uniones en las que el material de aportación tiene menor punto de fusión (y distintas características químico-físicas) que el material base, realizándose la unión soldada sin fusión del metal base y mediante la fusión del material de aportación que se distribuye entre las superficies de la unión, muy próximas entre sí, por acción capilar.

El soldeo fuerte se distingue del soldeo blando por la temperatura de fusión del metal de aporte. El soldeo fuerte utiliza aportaciones con punto de fusión por encima de 450ºC y el soldeo blando por debajo de dicha temperatura.

En la tabla 17.1 se indican las diferencias existentes entre el soldeo fuerte y blando y el soldeo por fusión.

Soldeo fuerte y blando	Soldeo por fusión
El metal base no se funde.	El metal base se funde.
Se utilizan fundentes para proteger y mejorar el mojado de los metales base.	Se pueden utilizar fundentes para proteger y mejorar la adhesión.
El calor se suministra mediante resistencia, horno, inducción o soplete.	El calor se suministra por láser, haz de electrones, arco eléctrico, resistencia.
Se produce una unión sin deformación.	Se pueden producir grandes deformaciones en los metales base.
Las tensiones residuales, cuando se producen, son muy pequeñas.	Se producen tensiones residuales.
El metal de aportación debe mojar el metal base y distribuirse por capilaridad.	El metal base y el de aportación se funden consiguiéndose la unión tras su solidificación conjuntamente.

TABLA 17.1: DIFERENCIAS ENTRE EL SOLDEO FUERTE Y BLANDO Y SOLDEO POR FUSIÓN

17.1.2. Aplicaciones, ventajas y limitaciones

Aplicaciones

El soldeo fuerte y el soldeo blando tienen gran cantidad de aplicaciones, desde

la fabricación de juguetes hasta motores de aviones y vehículos espaciales. En general, se utiliza para la unión de piezas de pequeño tamaño, piezas de diferentes materiales, donde sería muy difícil utilizar un proceso de soldeo por fusión, y piezas de diseño complicado que se pueden fabricar mediante soldeo fuerte ahorrando el coste elevado de una pieza moldeada.

El soldeo fuerte se utiliza para soldeo de plaquitas de corte en las herramientas, en diferentes partes de intercambiadores de calor, muchos componentes de automóviles, bicicletas, depósitos de aceite, instrumentos, paneles tipo sandwich con lámina intermedia en panal de abeja, uniones de materiales cerámicos a metálicos y piezas para vehículos espaciales.

El soldeo blando se utiliza en componentes electrónicos, como circuitos impresos o transistores, piezas ornamentales y piezas de intercambiadores de calor.

Ventajas

- Se pueden conservar los recubrimientos y plaqueados de los materiales base.
- Facilidad para obtener uniones sanas entre materiales diferentes, incluso entre materiales metálicos y no metálicos (como no se funden los metales base, no tiene importancia la diferencia existente entre sus temperaturas de fusión o sus características) o entre materiales de diferente espesor. Se pueden obtener uniones entre cobre y acero mediante soldeo fuerte con la misma facilidad con que se sueldan por fusión dos piezas de acero. Sólo se requiere seleccionar un metal de aportación compatible con el cobre y el acero.
- Se pueden obtener soldaduras en piezas de precisión.
- Con algunos procesos se pueden realizar soldaduras en muchas piezas al mismo tiempo, por lo que resulta muy económico.
- Sólo se requieren bajas temperaturas, con el ahorro energético que ello conlleva.
- La apariencia de la soldadura es muy buena.
- En general, la habilidad necesaria para realizar soldaduras fuertes o blandas es más fácil de adquirir que la requerida para realizar soldaduras por fusión, ya que la soldadura fuerte o blanda casi se realiza por sí sola distribuyéndose por capilaridad con gran facilidad.
- En un proceso fácilmente automatizable.

Limitaciones

La resistencia mecánica y la continuidad de las piezas obtenidas por soldeo fuerte no es comparable con la obtenida con soldeo por fusión.

El diseño de las piezas, y en algunos casos su preparación, puede resultar más complicado y costoso.

Resulta difícil o costosa su aplicación en el caso de piezas grandes.

17.2. Metal de Aportación

Metal de aportación es el metal que se añade cuando se realiza el soldeo fuerte o soldeo blando.

Las características que debe cumplir el metal de aportación son:

- Capacidad de mojar al metal base.
- Apropiada temperatura de fusión (inferior a la del metal base) y buena fluidez para permitir su distribución, por atracción capilar en las uniones.
- Ser capaz de producir una unión soldada que cumpla los requisitos de resistencia mecánica y a la corrosión en estado normal de servicio.

Se utilizará cada metal de aportación para un rango de temperaturas determinado, el rango de temperaturas depende de su composición química y está limitado, inferiormente, por su temperatura de fusión. El metal de aportación debe interaccionar con el metal base con el que se va a utilizar. Sin embargo no debe formar ningún compuesto que disminuya la resistencia de la unión, por esta razón la elección de un metal de aportación para cada metal base debe ser cuidadosa (ver tabla 17.2).

Los materiales de aportación se clasifican y se denominan por el metal o metales principales en su aleación. Sin embargo, todos lo metales de aportación de cada grupo están constituidos por varios metales, por ejemplo: los metales de aporte del grupo plata suelen ser aleaciones de plata, cobre, cadmio, cinc...

La clasificación AWS A5.8 de los grupos de metales de aportación más importantes se da en la tabla 17.2.

La designación consiste en una B de "brazing" seguida de los símbolos químicos de los metales que entran en mayor proporción en el metal de aportación.

Metal de aportación	Designación Grupo	Rango de temperaturas de soldeo(1) (°C)	Metales base
Plata	B Ag	618 - 820	Se utiliza para la mayoría de metales férricos y no férricos (acero, acero inoxidable, aleaciones base, níquel, fundiciones...) excepto aluminio y magnesio
Oro	B Au	890 - 1100	Aceros y aleaciones de cobre, acero inoxidable, aleaciones níquel, aceros aleados
Aluminio-Silicio	B Al Si	580 - 610	Aluminio y sus aleaciones
Cobre fosforoso	B Cu P	730 - 820	Aleaciones de cobre
Cobre y cobre cinc	B Cu	1090 - 1150	Acero, acero inoxidable, aleaciones de níquel
	B Cu Zn	915 - 970	Acero, aleaciones de cobre
Níquel	B Ni	970 - 1200	Acero inoxidable, aleaciones de níquel, acero, fundición
Magnesio	B Mg	604 - 627	Aleaciones de magnesio

(1) Estas temperaturas son una media aproximada entre las temperaturas de soldeo de todos los materiales de aporte del grupo, sin embargo, cada material de aporte tiene su temperatura de soldeo (ver tabla 17.3)

TABLA 17.2: GRUPOS DE METALES DE APORTACIÓN PARA DIFERENTES METALES BASE DE ACUERDO CON AWS A5.8

Designación	Composición	Rango de temperatura de soldeo (°C)
B Ag 13	53-55% Ag, 4-6% Zn, resto Cu	857 - 968
B Ag 5	44-46% Ag, 29-31% Cu, 23-27% Zn	743 - 843
B Cu 1	99,9% Cu (P, Pb, Al)	1093 - 1149
B Cu Zn A	57-61% Cu, resto Zn	910 - 954

TABLA 17.3: DESIGNACIÓN, COMPOSICIÓN Y RANGO DE TEMPERATURA DE SOLDEO DE ALGUNOS METALES DE APORTACIÓN

Metales de aportación para soldeo blando

Estaño-plomo: Es el metal de aportación más común.

Estaño-antimonio-plomo: Se adiciona antimonio porque mejora las propiedades mecánicas del material de aportación.

Estaño-antimonio: Se utiliza donde es necesario evitar la contaminación por plomo.

Estaño-plata: Se utiliza en instrumentos de trabajo delicados.

Estaño-cinc: Se utilizan para soldar aluminio.

Plomo-plata: Mejora la capacidad de mojado del plomo cuando éste es empleado en el soldeo blando de acero, fundición o cobre.

Cadmio-plata: Se emplea en la unión de cobre y también, aunque menos, en la soldadura aluminio-aluminio.

Cadmio-cinc: Se emplea en la unión de aluminio.

Cinc-cadmio: Se emplea en la unión de aluminio.

En la tabla 17.4 se indica la designación ASTM de los metales de aportación de estaño-plomo para el soldeo blando.

Clasificación ASTM B32	% Sn (% Estaño)	% Pb (% Plomo)	Temperatura de fusión (°C)	Intervalo de fusión (°C)
5	5	95	314	14
10 A	10	90	301	33
25	25	75	267	84
30	30	70	255	72
35	35	65	116	64
40	40	60	235	52
50	50	50	217	34
60	60	40	190	7
70	70	30	192	9

TABLA 17.4: ALGUNOS METALES DE APORTACIÓN PARA SOLDEO BLANDO DE ACUERDO CON ASTM B32

17.2.1. Método de aplicación del metal de aportación

El metal de aportación puede aplicarse manualmente durante el soldeo en el lugar de la unión, o puede ser presituado antes del trabajo.

Existen una formas estándar de metales de aporte como pueden ser varillas, rollos de alambre, polvos, láminas, arandelas... Dependiendo del diseño de la unión, método de calentamiento y nivel de automatización se podrá utilizar una u otra. Cuando se habla de producción masiva, el metal de aportación debe presituarse. Esta presituación del metal de aportación asegura una cantidad uniforme de metal de aportación en cada unión.

La figura 17.1 muestra algún ejemplo de cómo se presitúa el metal de aportación en forma de alambre y como queda el cordón después del soldeo.

En la figura 17.2 se representa la situación del metal de aportación en forma de láminas, de manera que cuando está fundido se aplica presión y se elimina el exceso de material de aportación.

Si en una misma pieza se deben realizar varias uniones, primero se efectuará el soldeo fuerte que utilice metal de aportación con mayor temperatura de fusión, la última operación de soldeo fuerte será aquélla que utiliza el material de aportación con menor temperatura de fusión. Esta práctica del soldeo fuerte se denomina "soldeo fuerte por pasos".

Cuando el soldeo se realiza con el fin de cerrar algún recipiente, durante el soldeo el recipiente debe estar abierto, para que los gases que se produzcan puedan salir y no creen ninguna sobrepresión.

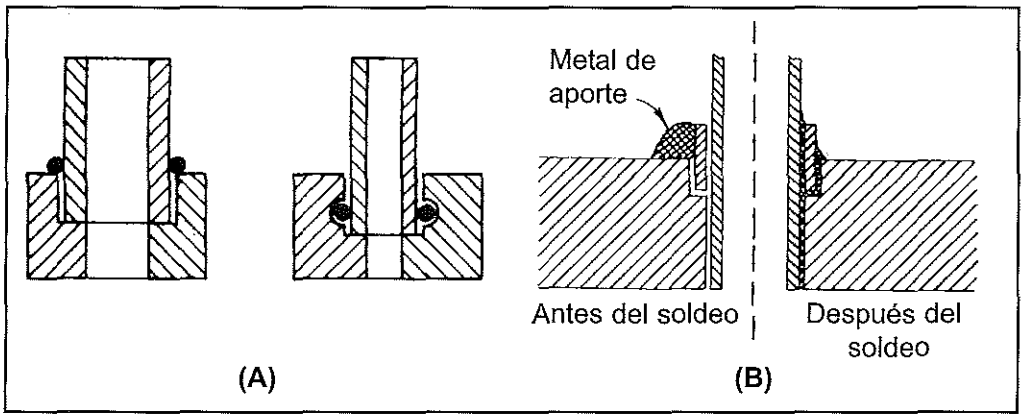


FIGURA 17.1: (A) MÉTODOS DE COLOCACIÓN DE METAL DE APORTE EN FORMA DE ALAMBRE. (B): SITUACIÓN DEL METAL DE APORTE ANTES DE SOLDAR Y RESULTADO DESPUÉS DE SOLDAR

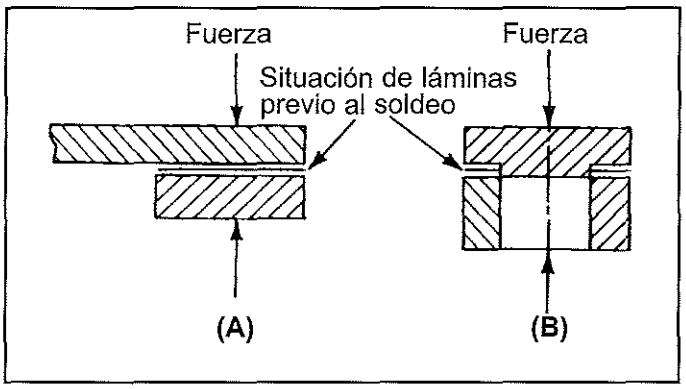


FIGURA 17.2: DISPOSICIÓN DE METAL DE APORTACIÓN EN FORMA DE LÁMINAS

17.3. Fundentes

El fundente tiene un papel primordial en el soldeo fuerte y en el soldeo blando. Sus funciones principales son:

- Aislar del contacto del aire.

- Disolver y eliminar los óxidos que puedan formarse.
- Favorecer el "mojado" del metal base por el metal de aportación fundido, consiguiendo que el metal de aportación pueda fluir y se distribuya en la unión.

Se deposita el fundente sobre el metal base y se calienta hasta que se funde y limpia la superficie de óxido, que queda protegida contra la oxidación por el fundente líquido. Entonces, en un punto de la unión se funde la varilla de aportación que desplaza al fundente fundido, porque la atracción entre el metal base y el metal de aportación es varias veces superior a la del fundente y el metal base, el metal se distribuye entre los metales base por capilaridad y, de esta forma, se produce la unión del metal de aportación con el material base al solidificar el metal de aportación.

Cada fundente tiene un rango de temperaturas recomendado (temperaturas de actividad) que deberá incluir la temperatura de soldeo del metal de aportación que se utilice.

Los fundentes son mezclas de muchos compuestos químicos. Entre los que se pueden citar están los boratos, fluoruros, borax, ácido bórico y los agentes mojantes.

Los fundentes se suelen suministrar en forma de polvo, pasta o líquido. El fundente en polvo puede aplicarse en seco, o disolverse en agua o alcohol con lo que se mejora su adherencia. El tipo de fundente más conocido es el fundente en pasta, el fundente líquido es el menos utilizado.

El fundente debe aplicarse después de la limpieza de las piezas mediante brocha, espolvoreado en el caso del polvo, o sumergiendo la pieza en el fundente cuando es líquido. En muchas ocasiones resulta útil precalentar el fundente a 50-60ºC antes de su aplicación, ya que de esta manera se mejora el mojado.

El fundente indica cuándo el metal base ha alcanzado la temperatura de soldeo y se debe aplicar el metal de aportación, en muchos casos el fundente, cuando se funde, se vuelve transparente, indicando que ha llegado el momento de aplicar el metal de aportación.

Una vez finalizada la operación de soldeo fuerte o soldeo blando, los residuos deben eliminarse para evitar la corrosión de las piezas.

Como la mayoría de los fundentes utilizados se disuelven en agua, el método más fácil para retirar el fundente es mediante agua caliente (50ºC), la limpieza se facilita si se sumerge la pieza en agua cuando todavía está caliente y se esté seguro que el metal de aportación ha solidificado completamente. Si todavía quedan restos se puede cepillar o eliminar mecánicamente. También se puede realizar la limpieza en cubetas de agua y mediante ultrasonidos.

Cuando se ha utilizado poca cantidad de fundente, o se han sobrecalentado las piezas, el fundente queda sobresaturado con óxidos, volviéndose generalmente de color verde o negro, siendo difícil retirarlo. En este caso será necesario sumergir la pieza en un ácido que actuará como decapante.

Una vez retirado el fundente se puede aplicar un tratamiento de decapado, para eliminar los óxidos que se hayan podido formar durante el soldeo en las zonas no protegidas por el fundente.

17.4. Atmósferas Controladas

Las atmósferas controladas se emplean para prevenir la formación de óxidos durante el soldeo fuerte o soldeo blando y, en muchos casos, reducir la presencia de óxidos, para que el metal de aportación pueda mojar y fluir mejor sobre el metal base limpio.

El empleo mayoritario de atmósferas controladas es en hornos, aunque también se utilizan en el soldeo por inducción y por resistencia. Cuando se utiliza atmósfera controlada se suele prescindir de la realización de la limpieza postsoldeo, aunque si se emplea fundente sí será necesario realizar una limpieza postsoldeo.

En uniones de alta calidad es siempre aconsejable la realización de la unión en atmósfera controlada, ya que de esta forma se asegura la eliminación de óxidos en el proceso.

Se suelen emplear atmósferas de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Hay que tomar siempre las precauciones necesarias en el empleo con ciertos gases, bien por ser tóxicos (monóxido y dióxido de carbono), explosivos (como el hidrógeno) o cualquier otro que pueda ser dañino para el usuario.

También se emplean atmósferas de gases inertes en el soldeo de metales como el titanio, acero inoxidable o circonio, incrementándose día a día la utilización del vacío para cualquier metal.

17.5. Diseño de la Unión

La unión realizada por soldeo fuerte o blando típica tiene un área de contacto entre materiales base relativamente grande, con una separación entre ellos muy pequeña.

Los tipos de unión básicos utilizados son (ver figura 17.3):

- A solape [ver figura 17.3 (A)]. Son las que proporcionan mayor resistencia en la unión. El solape suele variar de una a tres veces el espesor de la pieza más delgada, éstos son los más empleados y presenta la desventaja de incrementar el espesor de la unión. Con este tipo de unión se debe asegurar que ésta sea al menos tan resistente como el material menos resistente de la unión.
- A tope [ver figura 17.3 (B)]. No tiene, ni con mucho, la resistencia de la unión a solape y se emplea cuando las condiciones de servicio no son muy severas.
- Con chaflán inclinado o escarpado [ver figura 17.3 (C)]. Es una mezcla de las dos anteriores. Sus propiedades son intermedias. Presenta la desventaja en cuanto a preparación y alineación ya que cuesta más que las anteriores.

En la figura 17.3 (D) se muestra un diseño intermedio entre las uniones a solape y a tope.

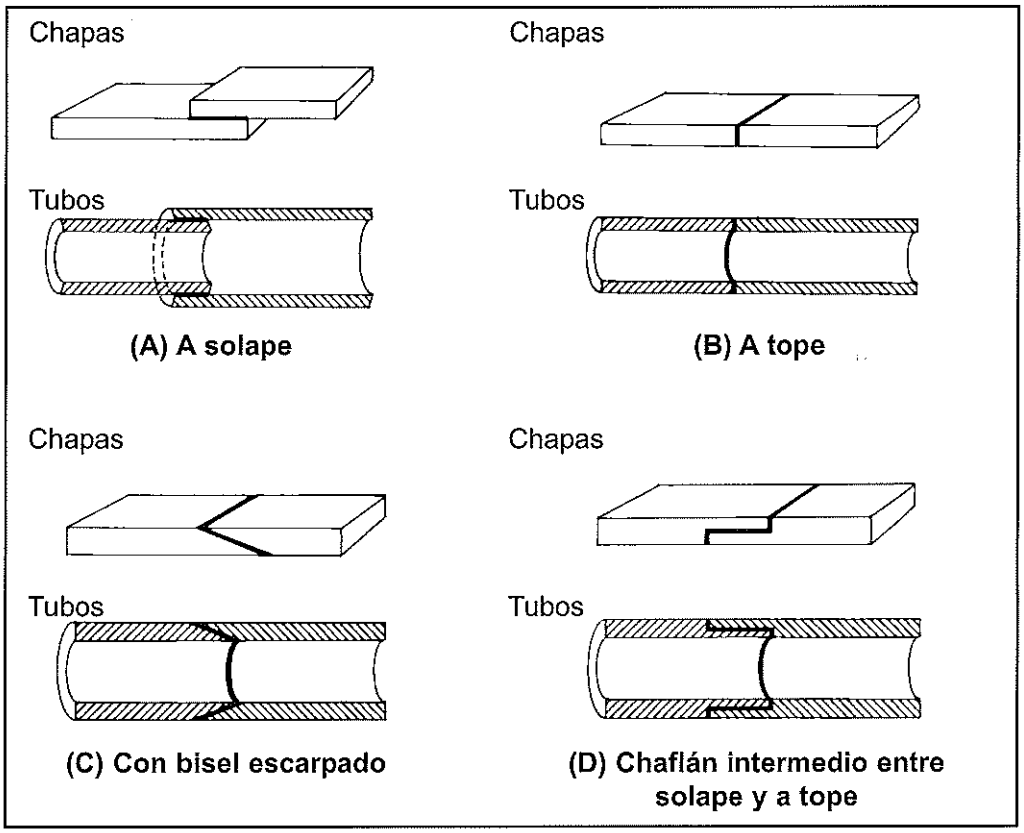


FIGURA 17.3: DISEÑO DE UNIONES MÁS UTILIZADAS EN EL SOLDEO FUERTE Y BLANDO

17.6. Preparación de las Piezas Antes de su Soldeo

17.6.1. Limpieza

La limpieza y consecución de superficies libres de óxidos es un imperativo para asegurar una unión sana y de calidad.

La uniformidad en la atracción capilar se obtiene sólo cuando la grasa, aceite y suciedad han sido eliminadas tanto del metal base como del metal de aportación. Algunos de los fundentes empleados tienen propiedades limpiadoras, pero no es ésta su función sino la de eliminación de óxidos. Es recomendable que el soldeo fuerte o blando se realice tan pronto como sea posible una vez que el material haya sido limpiado.

Los métodos de limpieza se suelen dividir en dos categorías, químicos y mecánicos, en los químicos se utilizan disolventes, ácidos o detergentes y entre los mecánicos se emplean el esmerilado, limado, soplado, cepillado.... Se utiliza también la limpieza por ultrasonidos sumergiendo la pieza en cubetas con un líquido limpiador. Cuando la limpieza se realiza por proyección, bien sea de gases (soplado), líquidos o sólidos, el material que se proyecte debe estar limpio y no debe de dejar ningún depósito sobre el material a limpiar, además no debe dañar las partes delicadas de la limpieza. Se evitará la proyección de materiales como alúmina, zirconia, sílice, carburos de silicio y otros, ya que éstos pueden incrustarse en la superficie y retardar el flujo del metal de aportación, se utilizarán fragmentos de hierro fundido o acero, empleando polvo o arenista de acero inoxidable para la limpieza de materiales inoxidables.

17.6.2. Recubrimiento de superficies

Algunas veces se realiza un recubrimiento de las superficies de las piezas con un material que tenga mejores aptitudes para el soldeo blando que el metal base.

Las principales ventajas del recubrimiento son dos: el soldeo es más rápido y uniforme y se evita el empleo de fundentes ácidos fuertes.

Este procedimiento es muy empleado en aquellos materiales que tienen una película de óxido que se retira con dificultad, como aluminio, bronces de aluminio o aceros muy aleados.

17.7. Procesos de Soldeo Fuerte y Soldeo Blando

Aunque aquí sólo se describirá el proceso con soplete, se destacan los siguientes por su importancia:

- Soldeo fuerte y soldeo blando con soplete.
- Soldeo fuerte y soldeo blando en horno.
- Soldeo fuerte y soldeo blando por inducción.
- Soldeo fuerte y soldeo blando por resistencia.
- Soldeo fuerte y soldeo blando por inmersión.
- Soldeo fuerte y soldeo blando por infrarrojos.
- Soldeo blando con soldador de cobre.

17.7.1. Soldeo fuerte y soldeo blando con soplete

El calentamiento del metal de aportación se consigue mediante la llama de un soplete. El soldeo fuerte y soldeo blando puede llevarse a cabo con uno o más sopletes y puede ser manual o no. Es necesario aplicar un fundente para realizar el decapado. En general, el metal de aportación se va introduciendo manualmente entre las partes a unir (ver figura 17.4).

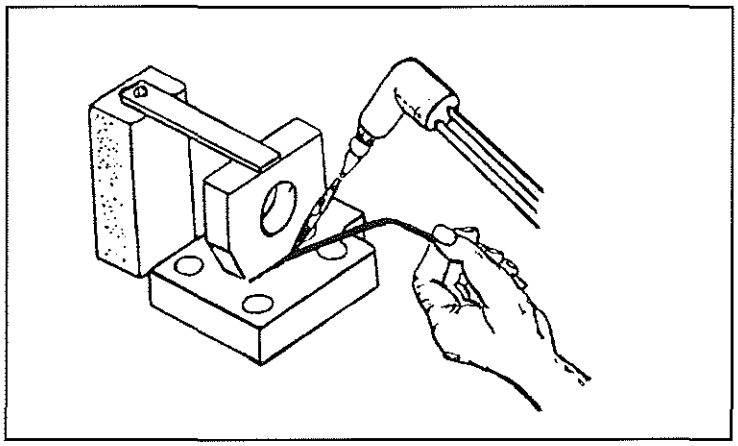


FIGURA 17.4: SOLDEO FUERTE O BLANDO CON SOPLETE

Se puede utilizar como combustible acetileno, propano, gas natural o gas ciudad y como comburente: aire u oxígeno. La llama producida con oxígeno será de mayor temperatura que si se emplea aire, el gas natural quemado en aire produce una

llama de baja temperatura, sin embargo el acetileno en oxígeno produce la temperatura más alta.

En la figura 17.5 se representa el soldeo de piezas pequeñas que pueden ser precalentadas con soplete con llama utilizando con aire, se realiza el soldeo con llama más caliente (por ejemplo con oxígeno), se deja enfriar la pieza hasta que el metal de aporte haya solidificado y luego se puede enfriar en agua.

Se puede ajustar adecuadamente la llama para conseguir un soldeo satisfactorio, muchas veces se prefiere una llama reductora. Una excepción es el caso de cobre no desoxidado ya que para su soldeo es necesario una llama oxidante o neutra. El ajuste de la llama oxiacetilénica es fácil ya que se pueden distinguir los diferentes tipos de llama por simple observación, la llama formada con otros combustibles es más difícil de distinguir. Se debe evitar el sobrecalentamiento, para ello se deberá aplicar la zona exterior de la llama y no el cono interno, que es el que se emplea en el soldeo oxiacetilénico. También se deberán seleccionar fundentes que sean activos a la temperatura de soldeo y por debajo de ella. La fusión del fundente será una indicación de que se está alcanzando la temperatura de soldeo. En el momento en que el fundente esté completamente fundido se aplicará el metal de aportación. Cuando el metal de aportación fluya por la unión cesará el calentamiento. No se debe aplicar el calor directamente al metal de aportación.

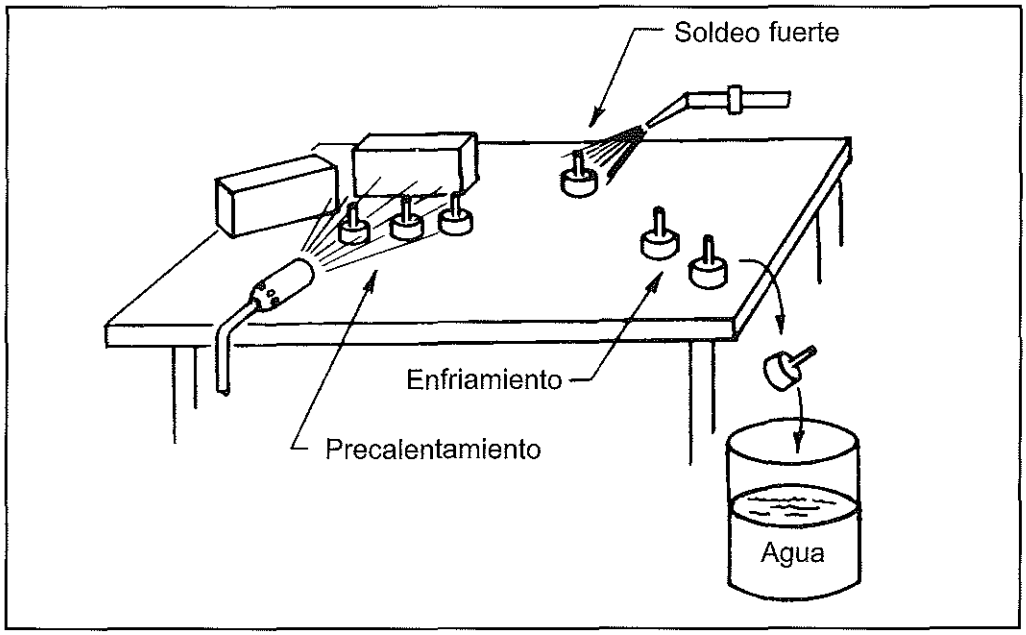


FIGURA 17.5: SOLDEO FUERTE DE PIEZAS PEQUEÑAS

Atención:

Algunos metales de aportación en el soldeo fuerte contienen cinc, cadmio, berilio, mercurio o plomo que pueden volatilizarse durante el soldeo. Su inhalación es muy peligrosa. Se debe realizar el soldeo con la ventilación adecuada.

Los fundentes del soldeo fuerte contienen boro, fluoruros y cloruros que son perjudiciales si se inhalan o si se ponen en contacto con los ojos o la piel. Trabaje con ventilación adecuada. Nunca manipule estos productos sin guantes y evite el contacto con los ojos.

7.8. Cobresoldeo

Se puede decir que este proceso de soldeo es intermedio entre el soldeo fuerte y el soldeo por fusión.

Para realizar la unión se utiliza un metal de aportación cuya temperatura de fusión es superior a 450ºC pero inferior a la del metal base que no se funde. Sin embargo, el metal de aportación no se distribuye por capilaridad, como en el soldeo fuerte, sino que se deposita mediante varillas como se realiza en el soldeo por fusión. El diseño de la unión se parece al utilizado en el caso de soldeo oxiacetilénico.

El cobresoldeo se suele realizar mediante llama oxigás, utilizando una varilla de aleación de cobre como metal de aportación y un fundente adecuado. Sin embargo, también se realiza por el proceso TIG o arco plasma, en estos casos no se suelen utilizar fundentes.

La primera aplicación del cobresoldeo fue la reparación de piezas de fundición. También se utiliza para unir piezas de acero, níquel, cobre y sus aleaciones.

El fundente se suele aplicar en una de las formas siguientes:

- Se precalienta la varilla de aportación y se sumerge en el fundente que se transferirá a la unión durante el soldeo.
- Se puede cubrir el metal base con el fundente mediante una brocha.
- El material de aportación puede estar recubierto de fundente.
- Se puede introducir mediante la llama oxiacetilénica.

Para realizar el soldeo se precalienta la varilla y se le aplica el fundente (excepto en el caso de ser varilla recubierta), al metal base se le aplica igualmente cierta cantidad de fundente. Se calienta el metal base hasta que funde el metal de aportación, que moja al metal base y lo cubre. La operación de cobresoldeo progresa a lo largo de la unión rellenando el chaflán con material de aportación mediante una o varias pasadas.

17.9. Defectos Típicos en las Soldaduras

Fallo	Causas
Falta de material de aportación, puede no haberse conseguido un buen mojado o una adecuada distribución por capilaridad.	- Metal de aportación no adecuado o defectuoso. - Temperatura de soldeo baja por utilizar una mala técnica, o existir un error en el termopar. - Tiempo de soldeo muy corto. - Limpieza no adecuada. - Poca cantidad de fundente, fundente no adecuado. - Gas formado de la atmósfera controlada no adecuada. Fallo en la realización del vacío. - Oxidación del metal base. - Separación excesiva entre piezas.
Excesiva cantidad de metal de aportación donde no se desea.	- Temperatura demasiado elevada debido a la mala técnica o a un fallo en el horno. - Tiempo de soldeo excesivo. - Demasiado metal de aportación o tipo inadecuado.

Fallo	Causas
Fundente atrapado.	- Fundente no adecuado para el material de aportación. - Excesiva cantidad de fundente.
Corrosión del metal base por el metal de aportación que reduce el espesor del metal base en determinadas zonas.	- Temperatura o tiempo de soldeo excesivos debido a una mala técnica o a un fallo en el control. - Excesiva cantidad de metal de aportación. - Utilización del metal de aportación muy cerca del límite superior de su rango de temperaturas. - Metal de aportación no adecuado

Capítulo 18

Obtención de los Productos Metálicos

INDICE

18.1. Fabricación del acero 406

18.1.1. Siderurgia integral 406

18.1.2. Acería eléctrica 408

18.2. Laminación 408

18.3. Estirado 409

18.4. Forja 409

18.5. Moldeo 411

18.6. Imperfecciones de los productos metálicos 411

18.7. Aleaciones 412

18.1. Fabricación del Acero

El papel fundamental de los aceros en la industria mundial, debido a la gran cantidad de aplicaciones y la gran variedad de aceros, hace necesario, aun cuando sea con carácter general, un estudio de la fabricación de este tipo de aleaciones.

El acero es una aleación hierro carbono (ver capítulo 22) y para su fabricación se pueden seguir dos caminos:

- El camino de las factorías integrales, que parten de unos minerales extraídos de la naturaleza y los transforman en productos comerciales de acero.

- El otro camino es el de las acerías eléctricas, que emplean como materia prima chatarras (desguaces de barcos, plantas químicas, automóviles, maquinaria).

Siguiendo el primer camino se obtienen la mayor parte de los aceros que utiliza la industria. Básicamente son los aceros al carbono y sus productos fundamentales: perfiles, chapas, alambrón, tubos...

Por la segunda vía, es decir mediante la refusión de chatarras, además de fabricar aceros al carbono se producen la mayor parte de los **aceros especiales**, ya sea de baja, media o alta aleación. La instalación principal es el horno eléctrico que, por su facilidad de manejo y versatilidad, es el más utilizado para la fabricación de aceros aleados.

18.1.1. Siderurgia integral

Como se ve en la figura 18.1 el camino del proceso integral consiste, a grandes rasgos, en introducir minerales de hierro, coque (el coque es un producto que se obtiene a partir del carbón y que tiene más consistencia que éste y menos volátiles) y fundentes en el **horno alto** donde se obtiene como producto arrabio, que es hierro con un contenido elevado de carbono (del orden del 4%). El arrabio pasa en la acería a un **convertidor** de donde se obtiene el acero líquido, que se colará (verterá) en colada continua o en colada convencional obteniéndose bien un semiproducto o acero moldeado. Los semiproductos no son utilizables directamente, debiendo transformarse en productos comerciales por medio de una laminación o forja en caliente.

En el **horno alto** se produce una reacción de reducción de los óxidos de hierro que forman los minerales.

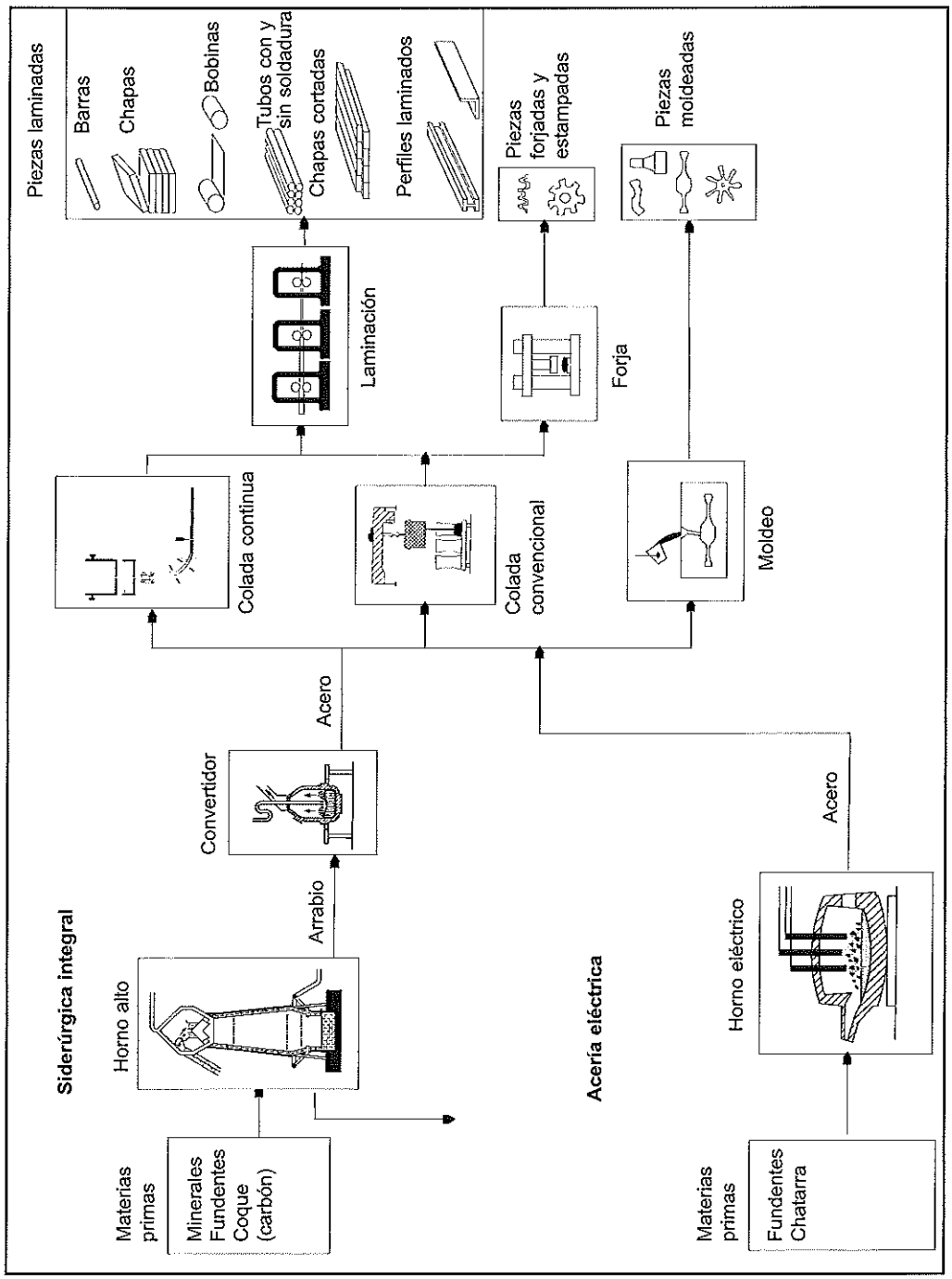


FIGURA 18.1: ESQUEMA GENERAL DE LA FABRICACIÓN DEL ACERO

En **el convertidor** se eliminan las impurezas y se reduce la cantidad de carbono del arrabio.

La **colada convencional** consiste en verter el acero en un molde, que suele ser de forma prismática, obteniéndose unos desbastes de acero que se laminarán para reducir su sección.

La **colada continua** es un procedimiento consistente en **verter directamente** acero líquido en un molde de **fondo desplazable**, cuya sección transversal tiene la forma geométrica del semiproducto que se desea fabricar. Se llama continua porque el semiproducto sale **sin interrupción** de la máquina hasta que se ha vaciado todo el acero líquido del que se partía.

18.1.2. Acería eléctrica

Siguiendo la vía de la acería eléctrica se parte de chatarra que se fundirá en el horno eléctrico, donde directamente se obtiene acero líquido que se colará en colada continua o convencional y los semiproductos obtenidos se elaborarán igualmente mediante laminación o forja.

18.2. Laminación

Esquemáticamente la laminación consiste en hacer pasar un material entre dos **rodillos o cilindros**, que giran a la misma velocidad y en sentidos contrarios, y reducir la sección transversal mediante la presión ejercida por éstos. (Figura 18.2).

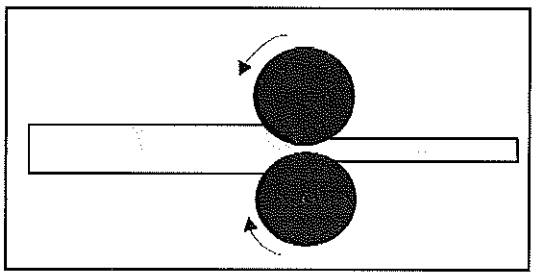


FIGURA 18.2: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN

En la laminación, como en todos los procesos de conformado por deformación, se aprovecha la **ductilidad** de los materiales, que es mayor cuanto mayor es la temperatura del material a laminar, distinguiéndose, en consecuencia, entre la laminación en frío y la laminación en caliente; ésta última en el acero se realiza a temperaturas comprendidas entre 800º C y 1250º C.

La laminación sólo permite obtener productos de sección constante como son las chapas, los perfiles, las barras, alambrón y tubos (ver figura 18.1).

Para conseguir la forma deseada será necesario, habitualmente, realizar una pasada de desbaste seguida de otras pasadas intermedias y finalizando con una pasada de acabado.

El elemento primordial para conseguir la laminación se conoce con el nombre de **caja** y se compone, esencialmente, de los cilindros y de una estructura que sirve de soporte.

Parte de los productos (chapa, perfiles, bobinas, alambrones, carriles...) se pueden utilizar directamente, sin transformación posterior a la laminación en caliente. El resto se transforma en **frío** en otros productos para reducir sus dimensiones, mejorar su acabado superficial y alcanzar tolerancias dimensionales más estrechas que no se consiguen en el proceso en caliente.

18.3. Estirado

Son procesos en los que tiene lugar desplazamiento del material, producido por fuerzas deformadoras de tracción que producen su alargamiento.

Se suele realizar en frío lo cual confiere al material las propiedades inherentes a estos procesos: mayor dureza, aumento de la resistencia y mejor acabado superficial. Se aplica para un mayor adelgazamiento de las barras obtenidas por laminación, así como para la fabricación de alambre y tubos, para ello se hace pasar el material por una matriz o hilera que le da la forma deseada.

El **trefilado** es el proceso de estirado empleado para la fabricación de los alambres.

18.4. Forja

La forja puede definirse como el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica producida por **presión o impacto**. Esta deformación controlada del metal realizada a alta temperatura produce mejor calidad metalúrgica y mejora las propiedades mecánicas.

Antes de deformarlo, el material se calienta a altas temperaturas según el tipo de metal; por ejemplo el acero se calienta a temperaturas entre 1150 y 1250ºC; el calentamiento es muy importante así como la uniformidad de éste para conseguir que el material se deforme con facilidad.

Aunque el objeto primario de la forja del acero es la obtención de piezas con forma, el trabajo en caliente del metal constituye un tratamiento mecánico de gran interés. Este tratamiento afecta profundamente a la estructura y, por tanto, a las propiedades físicas del material.

Se consigue:

- Cerrar y soldar las pequeñas porosidades que hubieran podido quedar en el material fundido.
- Desarrollar la **fibra** y orientación más conveniente de ésta. La fibra se crea por la deformación del material que se orienta en el sentido de la deformación. El fibrado mejora las propiedades longitudinales (en la misma orientación de la fibra) pero empeora las transversales (en dirección perpendicular a la fibra) como ocurre en la laminación. Sin embargo, normalmente, el material estará sometido a esfuerzos que hagan trabajar la pieza en sentido de la fibra. En la figura 18.3, se observa la diferencia de fibra entre un cigüeñal moldeado (sin fibra) y una pieza producida por mecanizado de un acero laminado (también con fibra unidireccional debido a la deformación). El mecanizado ha roto la fibra, por tanto es como si no la tuviera.

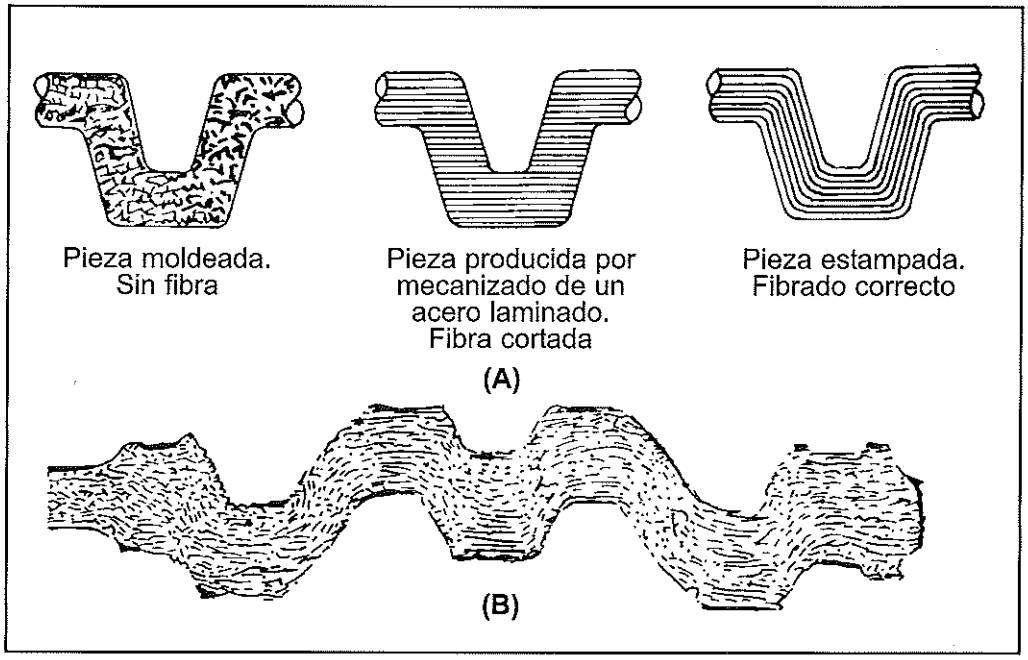


FIGURA 18.3: (A) COMPARACIÓN ENTRE PIEZAS OBTENIDAS POR DIFERENTES PROCESOS. (B) FIBRADO DE UN CIGÜEÑAL

18.5. Moldeo

Otro proceso de conformado de los metales es el moldeo, que consiste en verter (colar) el metal líquido en un molde hueco, cuya cavidad reproduce la forma deseada de la pieza y se deja solidificar el metal en dicho molde.

Esta técnica se suele emplear cuando las piezas tienen **formas complicadas** y hacen su conformación por laminación, forja o mecanizado difícil y costosa.

En el diseño del molde tendrá que preverse la contracción que sufrirá el material al solidificar, por lo que se disponen unas reservas de metal líquido denominadas mazarotas para compensar la contracción del material.

Lo mismo ocurre en soldadura, al solidificar el cordón contraerá y formará un rechupe o cráter en el extremo del cordón, si no se prevé un exceso de material al final del mismo.

18.6. Imperfecciones de los Productos Metálicos

A pesar de la gran calidad de la siderurgia en la actualidad, los productos metálicos pueden tener defectos producidos durante el proceso de fabricación. Así se pueden quedar ocluidos diferentes sólidos no metálicos (escoria u óxidos) o gases en forma de poros, o incluso formarse grietas durante la solidificación; estas imperfecciones durante el proceso de laminación se deformarán, aplastándose y alargándose recibiendo el nombre de **laminaciones**.

En las piezas forjadas pueden producirse el plegado o solapado de una capa fina delgada de metal sobre la superficie de la pieza, que se denomina **pliegue de forja**; también pueden formarse **grietas** cuando la forja se realiza a temperatura inferior a la debida.

En la piezas moldeadas pueden aparecer las siguientes imperfecciones: **poros, inclusiones de escoria y grietas o cavidades de contracción**.

Las grietas de contracción provienen de los diferentes grados de contracción que pueden producirse en las diferentes secciones de una pieza que se está moldeando. Las secciones más ligeras, al ser de menor tamaño, solidifican más rápidamente contrayendo, por lo tanto, más deprisa y tirando al tiempo de las secciones de mayor tamaño, las cuales están más calientes y se contraen más lentamente.

Las cavidades de contracción se forman por falta de metal fundido que rellene el espacio creado por la contracción del metal al solidificar. Pueden producirse aún cuando en la fabricación se hayan previsto las debidas mazarotas.

El material base que posea estas imperfecciones deberá rechazarse, pudiéndo en algunos casos admitirse tras la debida reparación de la imperfección y saneado del material.

Otro defecto importante de las piezas es el dimensional, las piezas pueden tener dimensiones diferentes a las especificadas; pudiendo presentar menores o mayores espesores, diámetros, longitudes, etc. Las tuberías pueden estar ovaladas en lugar de perfectamente circulares, pueden ser excéntricas o tener una falta de rectitud.

En cualquier caso se deberá tener también en cuenta que los productos posean las dimensiones especificadas (espesor, diámetro, longitud).

18.7. Aleaciones

En la industria se utilizan metales puros como el aluminio o el cobre, pero en la mayoría de los casos se utilizan aleaciones. La razón de utilizar aleaciones y no metales puros es que cuando se mezcla un metal, con otros metales u otras sustancias, se mejoran sus propiedades. Por este motivo, el hierro como metal puro no se emplea en la industria porque el acero (aleación de hierro y carbono) supera cualquier propiedad del hierro puro.

Una aleación es una disolución de diferentes elementos. Por ejemplo, el acero es una aleación de hierro y carbono porque está compuesto de una mezcla de estos dos elementos en una determinada proporción. Esta proporción se indica en forma de porcentajes, por ejemplo una aleación de níquel con un 40% de cobre significa que de cada 100 Kg de aleación 40 serán de cobre y 60 de níquel.

El elemento que entra en mayor proporción es el elemento base siendo los demás los elementos de aleación. Por ejemplo una aleación base níquel, o aleación de níquel, puede tener como elementos de aleación hierro, cromo, cobre... en diferentes proporciones en función de las propiedades deseadas. Los elementos de aleación, por tanto, se añaden para mejorar alguna característica: resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, al desgaste, mejora de la facilidad de conformado, tenacidad, etc.

Capítulo 19

Ensayos y Propiedades Mecánicas

INDICE

19.1 Propiedades mecánicas 414

19.2. Ensayos mecánicos 416

19.2.1. Concepto de tensión 416

19.2.2. Ensayo de tracción 417

19.2.3. Ensayo de dureza 418

19.2.4. Ensayo de resiliencia 419

19.2.5. Ensayo de doblado 419

19.1. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan la capacidad que tienen para resistir el efecto de las cargas o fuerzas (la presión, los golpes...).

Estas propiedades dependen de la composición química del material, de su estructura, el método de conformado y otros muchos factores como la temperatura o el tipo de carga que se aplique.

Los metales pueden estar sometidos a cargas de tres tipos: estáticas, dinámicas y cíclicas o alternantes.

- Una carga es **estática** cuando es invariable o su magnitud crece de forma lenta, por ejemplo el peso de un camión sobre un puente, la fuerza que se aplica a una pieza con el fin de estirarla o la presión a la que está sometido un depósito.
- Una carga es **dinámica** cuando actúa de forma instantánea o aumenta su magnitud de forma rápida. Son los golpes o impactos.
- Una carga es **cíclica** cuando cambia de magnitud o dirección (o ambas) de forma cíclica o alternada, como la que soportan los amortiguadores de un coche, una biela o un cigüeñal.

Los esfuerzos sobre un material pueden ser de diferentes tipos: tracción, compresión, cortadura, flexión y torsión (ver figura 19.1).

Se acostumbra a clasificar las propiedades mecánicas de los metales en dos grandes grupos:

- Las relacionadas con la **resistencia,** que miden la aptitud del material para resistir cargas estáticas. Entre las propiedades de este grupo se distinguen:
  - **La resistencia**, que es aptitud de un material para resistir las fuerzas que tienden a su rotura o a causar deformaciones permanentes. El acero es muy resistente, mientras que la resistencia de la mayoría de los plásticos es muy baja.
  - **La dureza**, que es la resistencia que oponen los metales a ser penetrados superficialmente. El diamante es un material muy duro y el talco o la tiza son materiales blandos.
- Las relacionadas con la **deformabilidad**, que, de una parte, gobiernan en gran medida su capacidad para soportar cargas dinámicas sin romperse y, de otra, su aptitud para aceptar, sin agrietarse o fracturarse, la profunda deformación plástica que se requiere en ciertos procesos de conformación. Se distinguen:

- **La elasticidad**, que es la capacidad de los metales para recuperar su forma y tamaño original después de retirar las fuerzas que provocaban una deformación elástica. Por eso se dice que los neumáticos o las gomas son elásticas.
- **La tenacidad**, que es la capacidad de los metales para ser deformados sin romper. Los metales en general son materiales tenaces, presentando un comportamiento totalmente diferente de otros materiales como por ejemplo el papel.
- **La resiliencia**, que es la capacidad que tienen los materiales para resistir los golpes. Un metal es un material resiliente y sin embargo el vidrio es un material sumamente frágil.

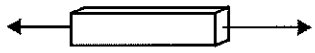
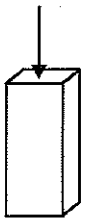
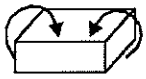
Tipo de esfuerzo mecánico	Efecto del esfuerzo mecánico
Tracción 	
Compresión 	
Flexión 	
Torsión	
Cortadura	

FIGURA 19.1: DIFERENTES TIPOS DE ESFUERZOS MECÁNICOS

De manera general, puede afirmarse que aquellos tratamientos que mejoran la resistencia de un metal reducen su deformabilidad, por lo que las propiedades incluidas en los dos grupos antes citados varían en sentidos contrarios.

19.2. Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos son una serie de pruebas efectuadas sobre los materiales para determinar sus propiedades mecánicas.

En todo ensayo se utilizan **probetas**. Una probeta es una muestra de dimensiones y formas normalizadas del material objeto de ensayo sobre la que se realiza dicho ensayo.

Las aplicaciones de los metales, y las operaciones de conformación a que pueden verse sometidos, son extremadamente variadas. Se han desarrollado, por tanto, numerosos ensayos mecánicos encaminados a medir propiedades diferentes con vistas a disponer, en cada caso, del ensayo o ensayos que mejor caractericen a un material para una utilización concreta.

19.2.1. Concepto de tensión

Antes de nada se va a indicar la diferencia entre fuerza y tensión mediante un ejemplo.

En la figura 19.2 se han representado dos barras de diferentes secciones, una de 12 mm^2 y la otra de 20 mm^2, la fuerza necesaria para romper la primera barra es de 240 Kg que es mucho menor que la necesaria para romper la segunda, para lo que se necesitan 400 Kg. Sin embargo la tensión, que es la fuerza por unidad de superficie, es la misma en ambos casos: 20 Kg/mm^2.

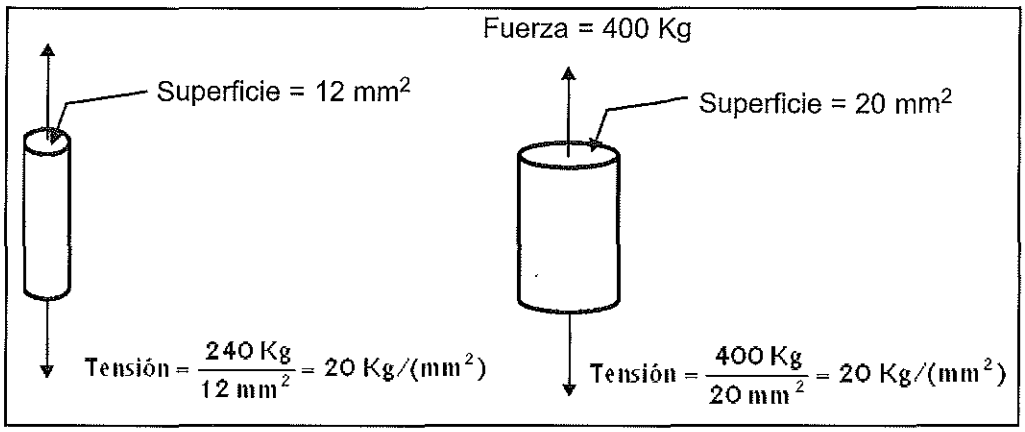


FIGURA 19.2: COMPARACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE TENSIÓN Y FUERZA

La fuerza se mide en Newton (N) o en Kilogramos (Kg).

La tensión se mide en Newton/mm^2 (N/mm^2) o en Kilogramos/mm^2 (Kg/mm^2).

19.2.2. Ensayo de tracción

En el ensayo de tracción se somete una probeta del material en estudio, de forma, sección y longitud normalizadas (figura 19.3), a una fuerza de tracción, en la dirección del eje de la probeta, que crece lenta y gradualmente hasta su rotura.

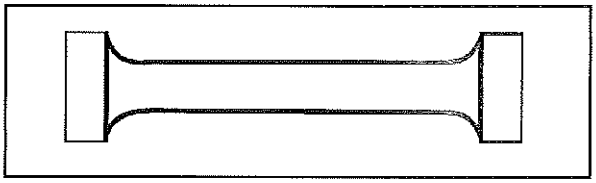


FIGURA 19.3: PROBETA PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN

A medida que aumenta la fuerza aplicada, la probeta se alarga, es decir la probeta sufre una deformación.

Con este ensayo, se pueden determinar una serie de propiedades:

Propiedades resistentes:

A. Límite elástico

El valor de la tensión al que corresponde la máxima deformación exclusivamente elástica se denomina límite elástico.

Se suele medir en Kg/mm^2 o en N/mm^2 .

B. La tensión de rotura

Es la máxima tensión que aguanta el material antes de romper.

Se suele medir en Kg/mm^2 o en N/mm^2 .

Propiedades dúctiles

A. Alargamiento

Indica el cambio de longitud que experimenta la probeta. Se expresa como un porcentaje de la longitud de la probeta.

$$\text{Alargamiento (\%)} = \frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{longitud inicial}} \cdot 100$$

Ejemplo:

Longitud inicial de la probeta 200 mm
Longitud final de la probeta 220 mm

$$\text{Alargamiento (\%)} = \frac{220 - 200}{200} \cdot 100 = 10\ (\%)$$

Si un material sufre un alargamiento de valor elevado se dice que su **comportamiento ha sido dúctil.** Si por el contrario, la rotura se produce sin que el material se alargue su **comportamiento se considera frágil.**

19.2.3. Ensayo de dureza

La dureza de un metal es la **resistencia** que opone a **ser penetrado** superficialmente por otros cuerpos.

El ensayo de dureza consiste en comprimir un penetrador, de forma y dimensiones fijas, contra la superficie preparada de la pieza que se ensaya, bajo una carga suficientemente grande como para asegurar la producción de una huella en la pieza (ver figura 19.4).

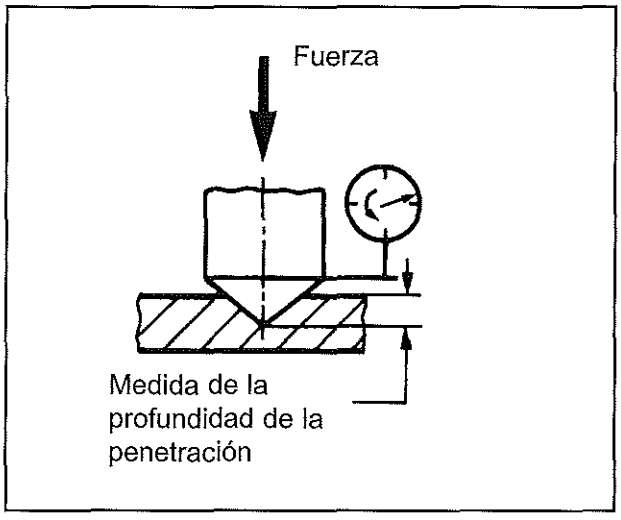


FIGURA 19.4: ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

Se mide, después, alguna dimensión de la huella y se expresa numéricamente la dureza como función de esa dimensión.

Existen diversos ensayos de dureza que difieren en la forma y material del penetrador. Los más utilizados son:

- Dureza Brinell, utiliza un penetrador consistente en una bola de acero. Se designa como HB.
- Dureza Vickers, emplea como penetrador una pirámide de diamante de base cuadrada. Se designa por HV.
- Dureza Rockwell, utiliza un penetrador cónico de diamante o un penetrador esférico de acero. Se expresa con las iniciales HRC si el penetrador es un cono de diamante o por HRB si es una bola de acero. En la figura 19.4 se ha representado el ensayo Rockwell con penetrador cónico.

19.2.4. Ensayo de resiliencia

El ensayo se efectúa con el péndulo Charpy utilizando probetas de sección cuadrada que poseen una entalla, generalmente en V.

La resiliencia es la energía de impacto, es decir, la energía consumida para romper una probeta mediante impacto. Se mide en Julios (J) o en kg/m.

La resiliencia de un material depende de la temperatura, los materiales poseen menor resiliencia cuanto menor es su temperatura.

19.2.5. Ensayo de doblado

Los ensayos de doblado (plegado) se realizan sometiendo la probeta a flexión, hasta doblarla con una determinada curvatura, de forma que su cara exterior quede sometida a fuertes tensiones de tracción.

Dependiendo de la norma aplicable puede exigirse un determinado ángulo de doblado sin que aparezcan grietas o, más frecuentemente, un doblado a 180º (caras paralelas) sin que las grietas superen un determinado tamaño (ver figura 19.5).

Se trata de un ensayo muy exigente que permite medir la ductilidad del material en la zona estirada. Suele aplicarse para valorar la capacidad de deformación, o para detectar posibles anomalías en una zona, por ejemplo, donde se haya realizado una soldadura.

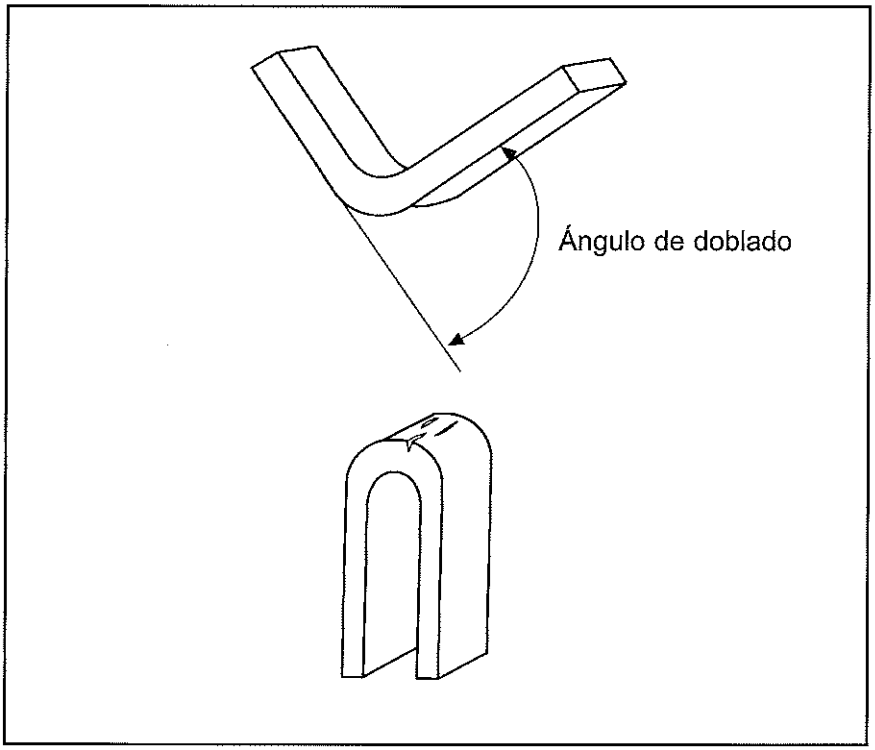


FIGURA 19.5

Capítulo 20

Introducción a la Soldabilidad

INDICE

20.1. Concepto de soldabilidad 422
20.2. Zonas de la unión soldada 422
20.3. Aporte térmico 423
20.4. Dilución 424
20.5. Precalentamiento y tratamiento térmico postsoldeo 425

20.1. Concepto de Soldabilidad

Un material se considera soldable, por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada se puede conseguir una soldadura sana de tal forma que cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades y a su influencia en la construcción de la que forma parte.

La soldabilidad de una material valora su aptitud para ser soldado.

20.2. Zonas de la Union Soldada

En un proceso de soldeo por fusión se pueden distinguir tres zonas claras en la unión soldada (ver figura 20.1):

- **Metal de soldadura**, o cordón de soldadura , que es la zona formada por el metal base y el metal de aportación que han sido fundidos.
- **Zona afectada térmicamente (ZAT)**, es la zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables. En general es deseable una ZAT estrecha.
- **Metal base** que no ha sufrido ninguna transformación en el proceso de soldeo.

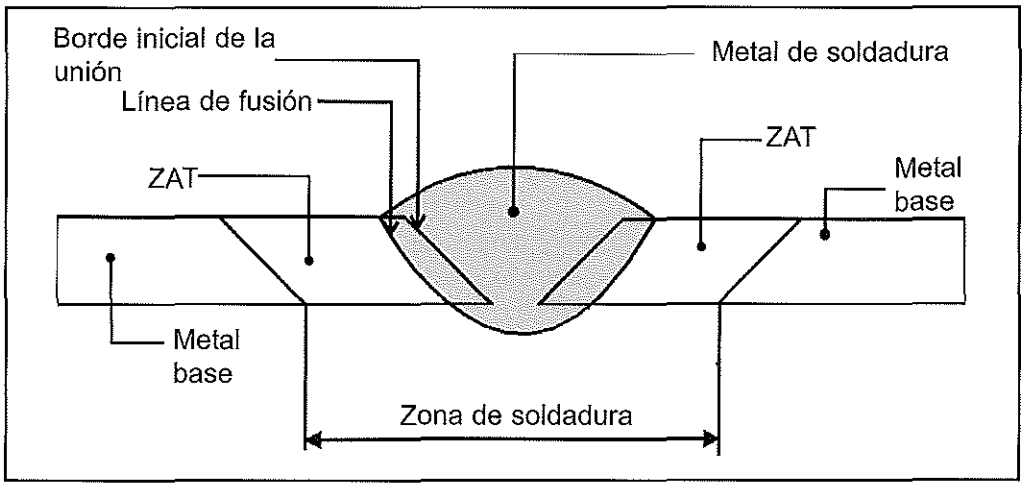


FIGURA 20.1: ZONAS DE LA UNIÓN

20.3. Aporte Térmico

El *aporte térmico* durante un proceso de soldeo es el calor aportado para realizar la soldadura; el aporte térmico es una variable muy importante a efectos de la calidad de la unión y podrá estar limitado cuando se realizan las soldaduras en determinados materiales. El aporte térmico depende de:

- Tensión e intensidad de soldeo, siendo mayor el aporte térmico cuanto mayores son estas variables.
- La velocidad de soldeo, cuanto menor es la velocidad mayor será la energía aportada.
- El rendimiento térmico. El calor generado por la fuente de energía no es utilizado en su totalidad para realizar la soldadura, parte se pierde durante el soldeo calentando el aire, gases circundantes y los productos fundentes. Cuanto mayor es el rendimiento térmico menores son las pérdidas de calor y cuanto mayor sea el rendimiento del proceso mayor será la energía neta aportada a la unión a soldar.

Su valor neto se calcula mediante la fórmula:

$$H_n\,(\text{Julios/mm}) = f \times \frac{\text{Tensión (V)} \times \text{Intensidad (A)}}{\text{Velocidad de soldeo (mm/seg)}}$$

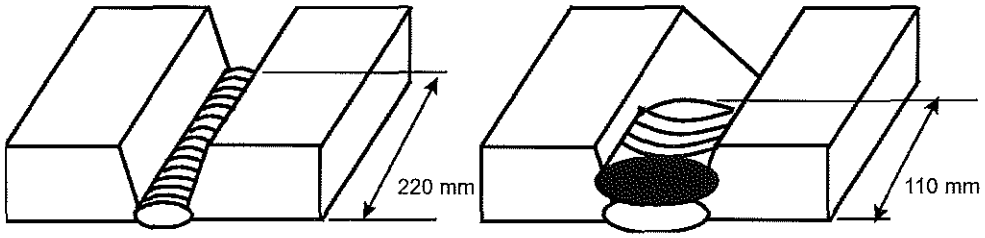
siendo f el rendimiento térmico.

Dependiendo de los procesos de soldeo, se consideran normales los rendimientos dados en la segunda columna de la tabla 20.1, sí bien, a efectos de cálculo del aporte térmico, es recomendable utilizar el valor normalizado de acuerdo con EN 1011, dado en la tercera columna de la tabla.

Proceso de soldeo	Rendimiento	Rendimiento (EN 1011-1:1998)
SAW	0,9 - 1	1
SMAW	0,75 - 0,8	0,8
FCAW	0,70 - 0,8	0,8
GMAW	MIG 0,7 - 0,8 MAG	0,8
GTAW	0,65	0,6

TABLA 20.1. RENDIMIENTO TÉRMICO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SOLDEO

La influencia de la técnica operatoria en el aporte térmico se puede ver en el ejemplo que se describe en la figura 20.2, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será el calor aportado.



Parámetros de soldeo	Cordón recto (a)	Cordón con oscilación lateral (b)
Tensión (V)	25	25
Intensidad (A)	150	150
Tiempo de fusión de un electrodo (seg.)	70	70
Longitud del cordón (mm)	220	110
Velocidad de soldeo (mm/seg)	(220/70) = 3,14	(110/70) = 1,57
Rendimiento térmico	1	1
Aporte térmico (Julios/mm)	(25x150)/3,14 = 1,19	(25x150)/1,57 = 2,38

FIGURA 20.2

20.4. Dilución

Dilución es la proporción en la que el metal base, o de soldadura previamente depositado, participa, a través de su propia fusión, en la composición química de la zona fundida.

La dilución se expresa, convencionalmente, como el porcentaje de metal base

fundido e incorporado a la soldadura. En otras palabras, es el peso con que el metal base contribuye a la composición del cordón.

Los esquemas siguientes aclaran geométricamente el concepto de dilución (figura 20.3).

La dilución influye, naturalmente, en la composición química del cordón de soldadura y puede calcularse para predecir el contenido de cualquier elemento en el mismo.

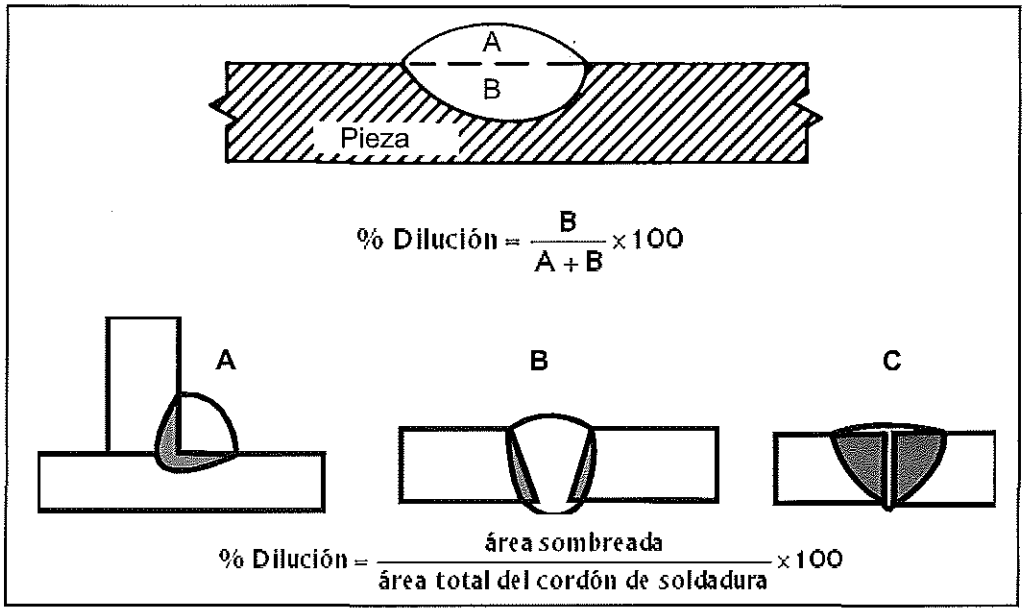


FIGURA 20.3: DILUCIÓN

En la figura 20.3 se ve que la unión (C) tiene mayor dilución que la (A) y que la unión (B) es la de menor dilución.

20.5. Precalentamiento y Tratamiento Térmico Postsoldeo

Precalentamiento

Algunas veces se precisa precalentar a una cierta temperatura las piezas que van a ser soldadas. Se realiza sólamente cuando es imprescindible, en aquellos materiales que presentan problemas de soldabilidad y que de no calentarse se

podrían agrietar las soldaduras, la ZAT o no se pudiesen conseguir las temperaturas de soldeo adecuadas por la gran conductividad térmica del material.

Los objetivos del precalentamiento son:

- Reducir la velocidad de enfriamiento de las piezas.
- Disminuir las pérdidas de calor en aquellos materiales muy conductores del calor como el cobre o el aluminio (y sus aleaciones), de esta forma se consiguen más fácilmente baños de fusión adecuados.

Con el precalentamiento también se consigue eliminar la humedad que pudieran tener los materiales a soldar. Pero también se dificultan las condiciones de trabajo al tener que llevarlas a cabo en un ambiente que, a veces, puede ser muy caluroso. Por otro lado el precalentar es costoso, hay que consumir gases, si se efectúa con llama, o energía eléctrica. Por todo ello, cuando se especifica un determinado precalentamiento es porque **es necesario para conseguir la calidad final requerida a la unión**, debiendo seguirse estrictamente las instrucciones que sean de aplicación en cada caso concreto.

Tratamiento térmico postsoldeo

Algunas veces es necesario realizar un tratamiento térmico sobre las piezas ya soldadas, es decir calentarlas hasta una cierta temperatura y enfriarlas según se especifique.

Los objetivos del tratamiento térmico postsoldeo son:

- Reducir el nivel de tensiones residuales que se han podido producir durante el soldeo, en este caso se suele denominar tratamiento de alivio de tensiones y suele consistir en calentamiento y enfriamiento lento.
- Mejorar alguna propiedad o característica de la soldadura o de la ZAT que haya podido quedar afectada durante el soldeo. En este caso el tipo de tratamiento dependerá del material.

Capítulo 21 Tensiones y Deformaciones Durante el Soldeo

INDICE

21.1. Tensiones y deformaciones durante el soldeo 428

21.2. Diferentes métodos de prevenir las deformaciones sin producir grandes tensiones 431

21.2.1. Diseño de la unión 431

21.2.2. Montaje de las piezas 432

21.2.3. Procedimiento de soldeo 433

21.2.4. Secuencia de soldeo 434

21.2.5. Ejemplos 436

21.3. Formas de corregir la deformación 438

21.1 Tensiones y Deformaciones Durante el Soldeo

Cuando se calienta una pieza se dilata, es decir aumenta su volumen, y cuando se enfría se contrae volviendo a su forma original, siempre que no se haya impedido de alguna forma su dilatación, o su contracción, y el calentamiento y el enfriamiento se hayan realizado de forma uniforme.

Sin embargo, cuando el calentamiento no es uniforme, o se impide la dilatación y contracción de la pieza, ésta se deforma.

Por ejemplo, en la figura 21.1 se ha representado un bastidor de acero en el que se ha calentado localmente una cierta longitud L_0 [ver figura 21.1 (A)], que se alargará localmente de L_0 a L_1 produciendo una deformación en el resto del bastidor [figura 21.1 (B)]. La parte que permanece fría y que está deformada tenderá a volver a su posición original, para lo cual obligará a la parte calentada a deformarse, consiguiéndolo porque el calor ha reducido la resistencia mecánica de la parte caliente [figura 21.1 (C)]. Cuando se enfríe del todo se contraerá (L_2 menor que L_0) deformando de nuevo el bastidor.

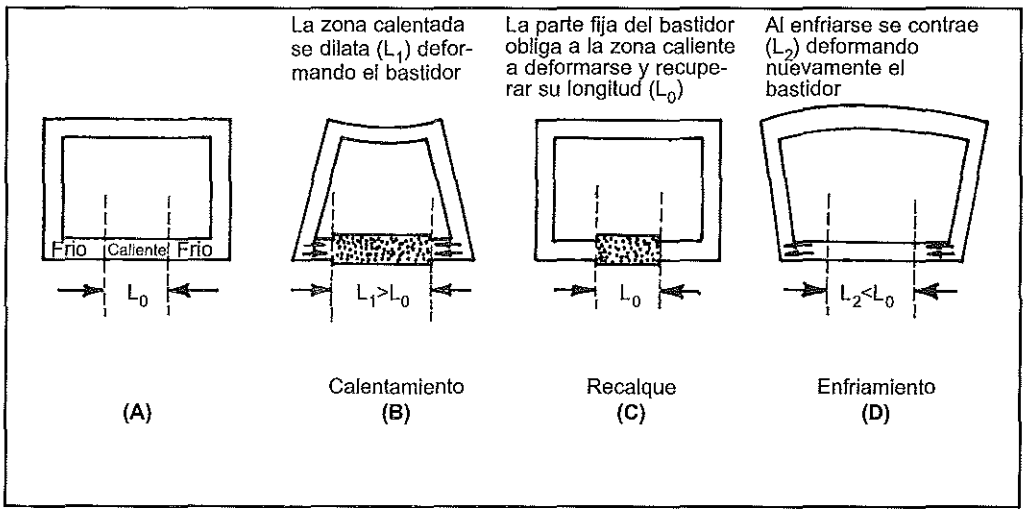


FIGURA 21.1: SIMULACIÓN DE LA DEFORMACIÓN PROVOCADA POR UN CALENTAMIENTO LOCAL

Durante el soldeo se producen calentamientos locales de las piezas (ver figura 21.2), la zona fría de la pieza impedirá la libre dilatación y contracción de la parte caliente que se traducirá en una deformación.

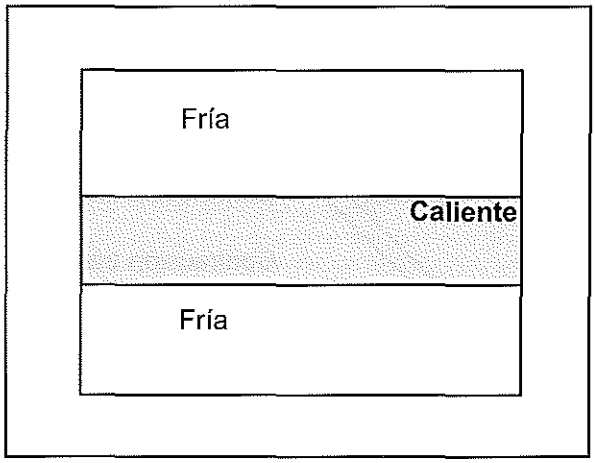


FIGURA 21.2: CALENTAMIENTO LOCAL PRODUCIDO DURANTE EL SOLDEO DE DOS CHAPAS

Se puede observar, por tanto, que como consecuencia de enfriamientos y calentamientos no uniformes se producen:

- Deformaciones en las piezas.
- Tensiones internas o residuales, que permanecerán en las piezas aún después de retirar todos los esfuerzos o cargas externas.

Si se impide la deformación de las piezas se producen tensiones internas, aumentando el riesgo de fallo, es decir, el riesgo de rotura de la pieza.

Tanto en las soldaduras en ángulo como en las realizadas a tope, interesa distinguir:

- La contracción longitudinal [ver figura 21.3 (A)] que se produce en el sentido del eje longitudinal de la unión soldada, produce deformaciones como la representada en la figura 21.4.
- La contracción transversal ver figura 21.3 (B)] que se produce perpendicularmente a la anterior.
- La contracción angular, que en realidad no es sino una parte de la transversal y que proviene de que un cordón de soldadura de sección triangular se contrae transversalmente de modo desigual (ver figura 21.5).

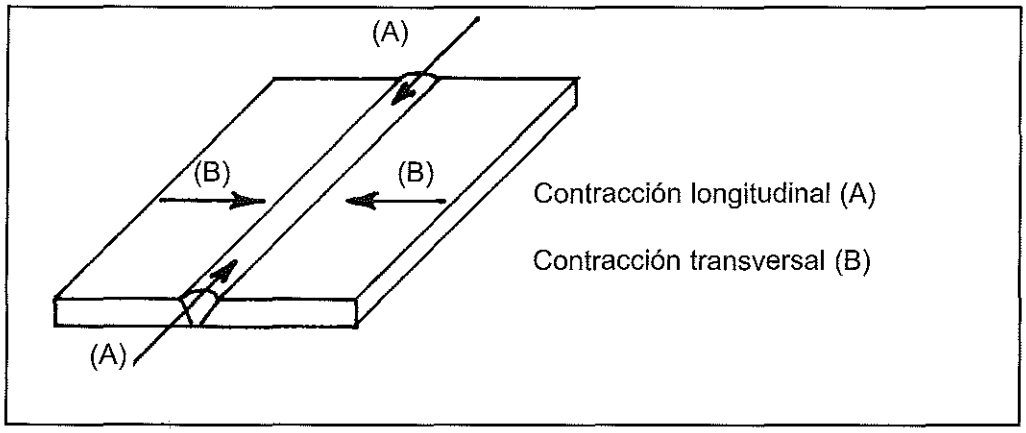


FIGURA 21.3: CONTRACCIONES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PRODUCIDAS AL REALIZAR LA SOLDADURA

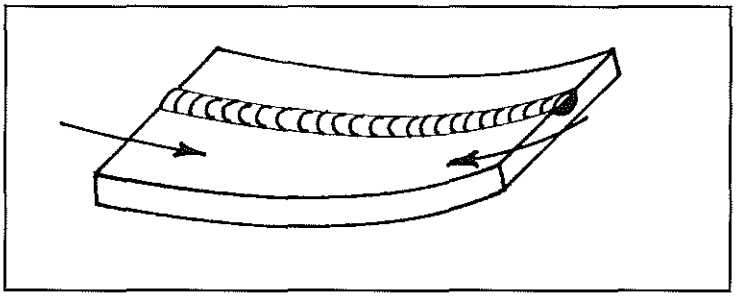


FIGURA 21.4: DEFORMACIÓN POR CONTRACCIÓN LONGITUDINAL

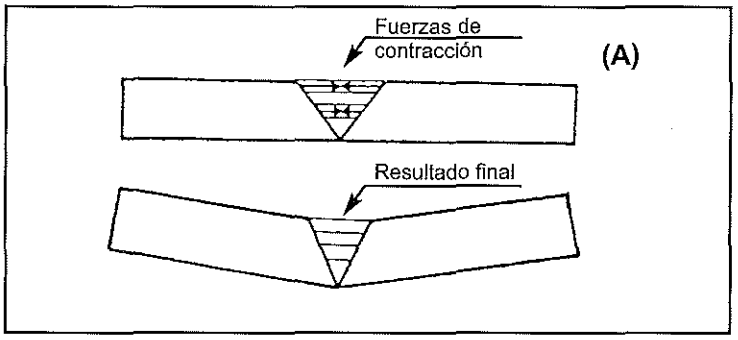


FIGURA 21.5: DEFORMACIÓN ANGULAR

(A) DEFORMACIÓN ANGULAR EN UNA UNIÓN A TOPE

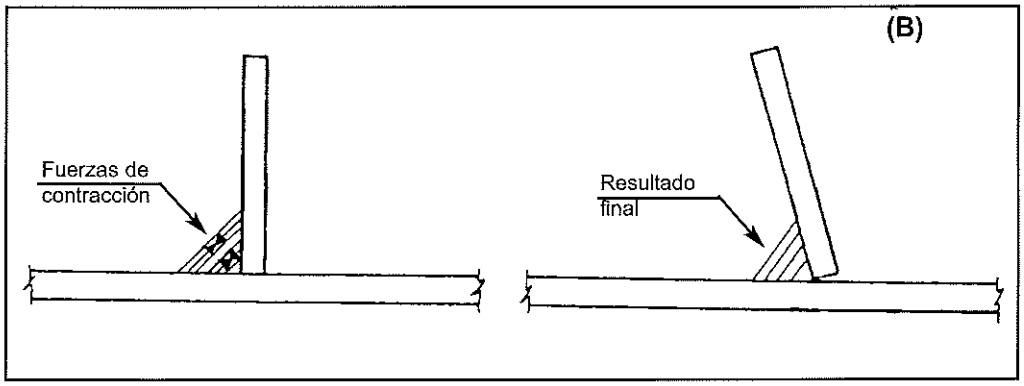


FIGURA 21.5: DEFORMACIÓN ANGULAR
(B) DEFORMACIÓN ANGULAR EN UNA UNIÓN EN ÁNGULO

21.2. Diferentes Métodos de Prevenir las Deformaciones sin Producir Grandes Tensiones

21.2.1. Diseño de la unión

La deformación durante el soldeo será menor cuanto:

- Menor sea la cantidad de metal de soldadura.
- Mayor sea la simetría de la unión.
- Menor sea la cantidad de calor aportado.

Uniones a tope

Con el fin de reducir la cantidad de metal de soldadura:

- La separación en la raíz será la mínima posible que garantice, eso sí, una buena accesibilidad a la raíz y por tanto una buena penetración.
- El ángulo del chaflán será el mínimo posible (ver tabla 21.1).
- Se utilizarán preparaciones en U en lugar de en V cuando el espesor de la pieza sea elevado. (ver tabla. 21.1)
- Siempre se preferirán diseños en U doble o en V doble, sin embargo estos tipos de preparación son más caros por lo que se utilizarán cuando el espesor de la unión sea elevado (mayor de 15 mm) y cuando la unión sea accesible por los dos lados. (tabla 21.1)

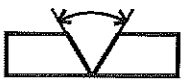
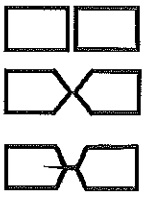
Tipo de preparación					
Deformación					

TABLA 21.1: INFLUENCIA DEL TIPO DE PREPARACIÓN DE LA UNIÓN EN LA DEFORMACIÓN DURANTE EL SOLDEO

Uniones en ángulo

Se deberá reducir al máximo el aporte térmico y la garganta de la soldadura, teniendo en cuenta que ésta nunca sea inferior a la mínima especificada.

21.2.2. Montaje de las piezas

Para reducir las deformaciones nos interesa reducir las contracciones; se podría conseguir con cualquiera de los tres métodos siguientes:

1. Situar las chapas y embridarlas de forma que se minimice la deformación.
2. Predeformar elásticamente la pieza en sentido contrario a la deformación prevista (ver figura 21.6).
3. Estimar la cantidad de deformación que se vaya a producir durante el soldeo y situar las chapas de forma que se compensen las deformaciones. (ver figura 21.6).

El tercer método sería mejor que el primero y que el segundo, ya que éstos producen tensiones internas, sin embargo el tercer método es más difícil de aplicar. El primer método es más simple y suele ser el más utilizado. Para evitar grietas y roturas por el embridado de piezas se soldará con secuencias adecuadas y, en los espesores grandes, se realizará un precalentamiento.

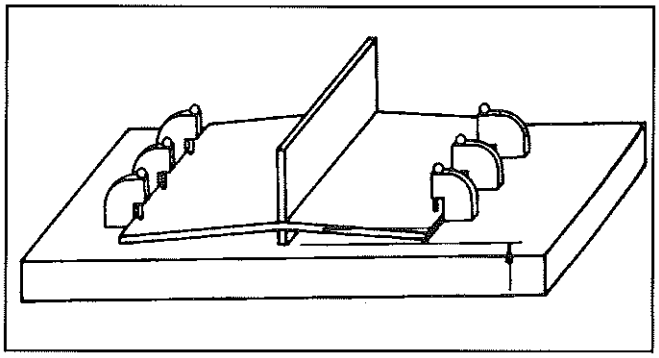


FIGURA 21.6: PREDEFORMAR ELÁSTICAMENTE LA PIEZA ANTES DEL SOLDEO

21.2.3. Procedimiento de soldeo

En general, se deberá:

1. Completar la unión con el mínimo número de pasadas posible y con el diámetro de electrodo, varilla o alambre máximo posible.
2. Realizar el soldeo de forma rápida, reduciendo el calor aportado.
3. Comenzar soldando las uniones que provoquen la contracción máxima.
4. Precalentar las piezas para evitar que se enfríen rápidamente, de esta forma se permite a las piezas que se adapten a los cambios de volumen producidos por el calor, reduciéndose las tensiones y las deformaciones. Se aplicará sobre todo cuando los materiales tienen gran espesor. Sin embargo, este método debe emplearse con sumo cuidado y teniendo en cuenta que en algunos materiales puede ser muy perjudicial.
5. Durante el soldeo progresar de forma simétrica, de modo que cada pasada contrarrestre las deformaciones producidas por la anterior.

Para esto se tendrá que tener en cuenta lo siguiente:

- Soldar simultáneamente por las dos caras de la unión en las soldaduras en ángulo, así como las soldaduras a tope en V doble (por ejemplo en posiciones vertical y cornisa), de esta manera la deformación producida por una cara de la soldadura la contrarrestra el otro soldador por el otro lado.
- En las uniones en V o U doble simétricas se deberá realizar el soldeo como indica la figura 21.7, alternando los cordones de soldadura por ambos lados de la unión. Cuando se resane, también deberá realizarse de

forma simétrica. Si la primera pasada debe resanarse completamente, el soldeo ya no será simétrico, por lo que en este caso se preferirá un diseño en U o V doble asimétrico.

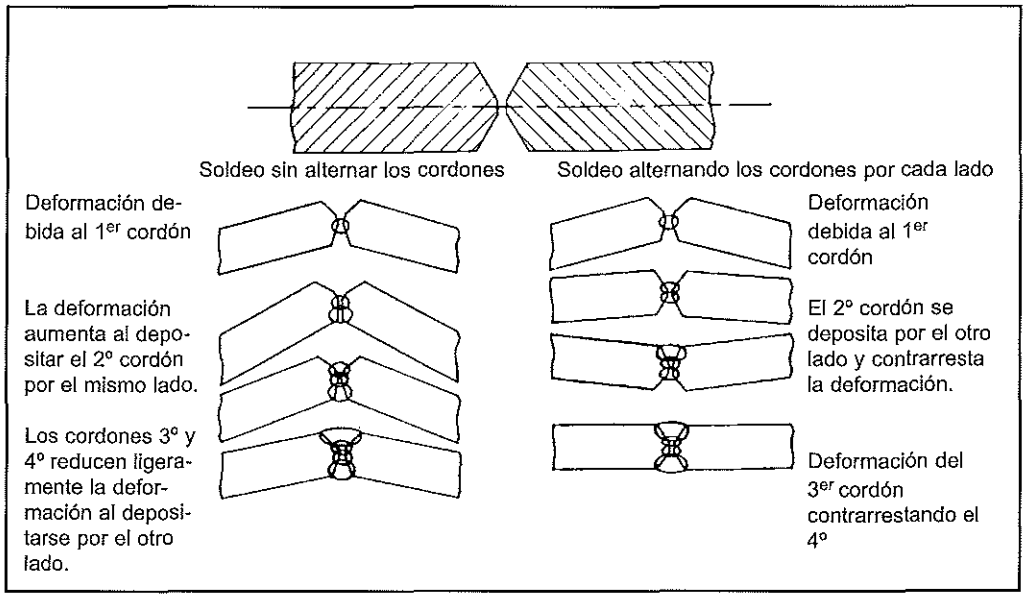

Soldeo sin alternar los cordones
Soldeo alternando los cordones por cada lado
Deformación debida al 1er cordón
La deformación aumenta al depositar el 2º cordón por el mismo lado.
Los cordones 3º y 4º reducen ligeramente la deformación al depositarse por el otro lado.
Deformación debida al 1er cordón
El 2º cordón se deposita por el otro lado y contrarresta la deformación.
Deformación del 3er cordón contrarrestando el 4º

FIGURA 21.7: UNIÓN EN V DOBLE SIMÉTRICA. ALTERNAR LOS CORDONES POR AMBOS LADOS

- En las uniones en V o U doble asimétricas, también se deberá alternar las pasadas de soldadura.

21.2.4. Secuencia de soldeo

La secuencia de soldeo es el orden en el que se efectúan los cordones y las pasadas de soldadura. Se pueden utilizar secuencias que aminoren la deformación.

Secuencia de paso de peregrino [figura 21.8 (A)]

Es un método fácil para reducir la deformación durante el soldeo. Se evita de esta forma el efecto de cierre de las chapas que en otro caso tenderían a reducir la separación en la raíz. Consiste en efectuar cada pasada en sentido contrario al de avance del soldeo. Se emplea fundamentalmente:

- En uniones largas.
- En las primeras pasadas de grandes espesores.

- Donde se produzcan cruces de soldaduras.
- Zonas de grandes esfuerzos y gran responsabilidad.

La figura 21.8 (B) muestra el "soldeo a saltos" que es una variante del "soldeo de paso de peregrino", consiste en realizar cordones espaciados regularmente soldando también en sentido contrario al de avance del soldeo.

En la figura 21.8 (C) se representa una técnica para realizar las uniones en ángulo alternando los cordones de soldadura.

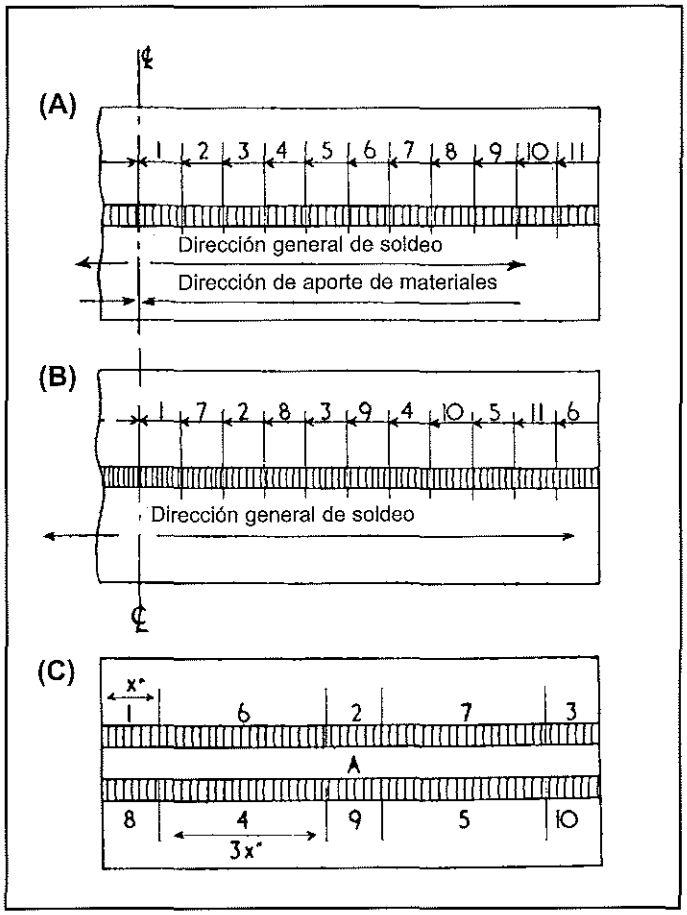


FIGURA 21.8: (A) SOLDEO DE PASO DE PEREGRINO. (B) SOLDEO A SALTOS. (C) TÉCNICA PARA REALIZAR DOS SOLDADURAS EN ÁNGULO EN FORMA DE T

21.2.5. Ejemplos

Forma de evitar que se cierre la separación en la raíz

Cuando durante el soldeo se junten las chapas [figura 21.9 (A)], se podrá corregir en algunos casos invirtiendo el sentido de soldeo, para ello se comenzará el nuevo cordón a unos 50-75 mm del final del anterior [figura 21.9 (B)].

Soldeo de un conjunto de chapas [Figuras 21.10 (A), (B) y (C)]

- Se soldarán primero las piezas más pequeñas para formar piezas de tamaño parecido a la mayor.
- Las uniones contiguas se realizarán en sentido contrario.
- Ninguna unión terminará en otra ya realizada.
- Se debe soldar comenzando por el centro y terminando en los extremos.

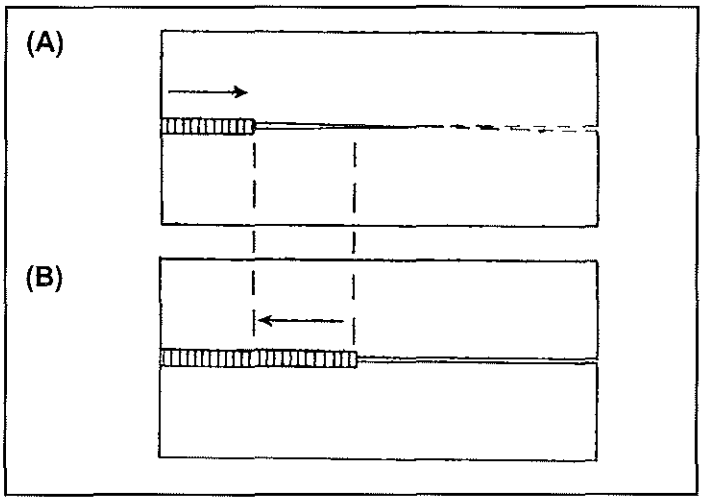


FIGURA 21.9: MÉTODO DE CORREGIR LA DISMINUCIÓN DE LA SEPARACIÓN EN LA RAÍZ: CAMBIAR EL SENTIDO DEL SOLDEO

Uniones en ángulo

- Colocar refuerzos angulares antes de soldar cuando sea necesario para evitar deformaciones angulares.
- Si la pieza es de gran espesor, utilizar el paso de peregrino.

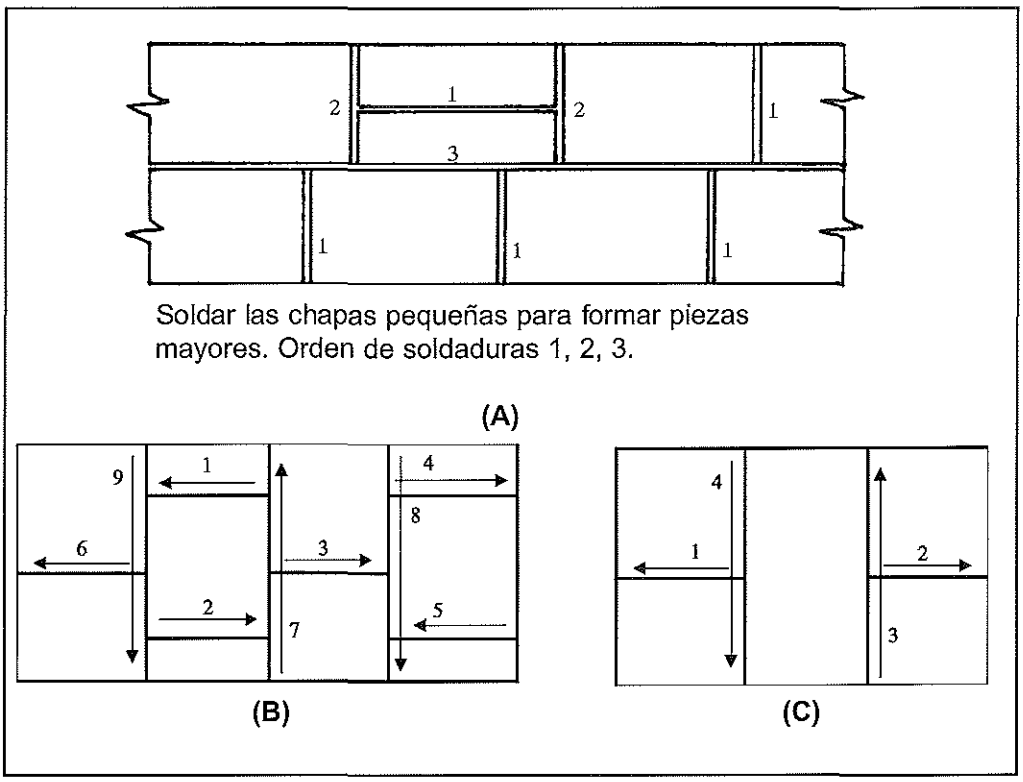


FIGURA 21.10: SOLDEO DE UN CONJUNTO DE CHAPAS

- En la figura 21.11 se ha indicado una secuencia, pudiéndose utilizar otras, por ejemplo soldar del centro hacia los extremos y soldar con dos soldado-res al mismo tiempo, uno por cada lado si las chapas son de gran espesor.
- Soldar del centro hacia los extremos libres.
- Ejecutar la soldadura aplicando el mínimo de calor y de metal de aporte.
- Embridar la pieza.

Soldeo de tubería fija mediante electrodo revestido

De diámetro menor de 500 mm:

- La soldadura será realizada por un solo soldador.
- Se soldará en sentido ascendente
- Se soldará en dos mitades, desde la parte inferior hacia la superior.

De diámetro mayor de 500 mm:

- Se emplearán dos o más soldadores
- Se suelen soldar en sentido descendente si se emplea electrodo celulósico

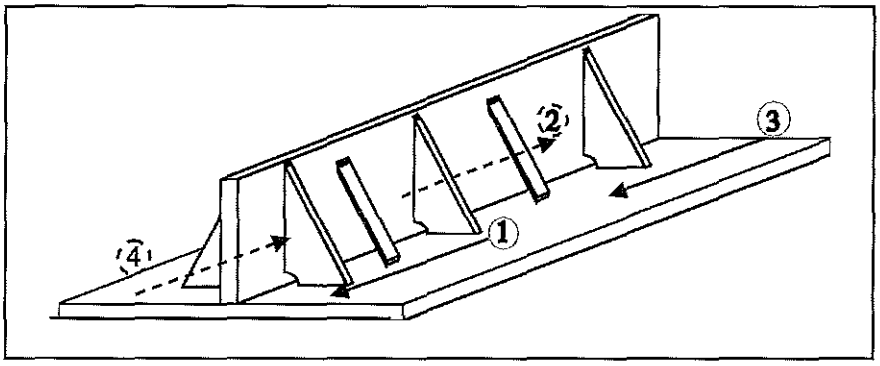


FIGURA 21.11: SECUENCIA PARA SOLDAR UNIONES EN ÁNGULO

21.3. Formas de Corregir la Deformación

No siempre es posible controlar totalmente la deformación, pero se pueden emplear diferentes métodos para corregirla.

Métodos:

- Los tratamientos térmicos postsoldeo reducen el nivel de tensiones internas, pudiéndose corregir la deformación. Consisten en el calentamiento uniforme (a veces localizado) de las piezas y enfriamiento lento. La temperatura y tiempo dependerá del material base.
- Se puede enderezar las chapas mecánicamente por medio de presión.
- Enderezado térmico. Se sabe que un calentamiento localizado produce deformaciones en las piezas, pues bien, se puede utilizar este efecto para deformar las piezas en sentido contrario a la deformación que poseen como resultado del soldeo, de esta forma se enderezarán las piezas. Este método es muy utilizado en los aceros al carbono, se aplica mediante llama de calentamiento. Se debe realizar siempre con gran cuidado y solamente por personas experimentadas.

  El calor se puede aplicar en forma de puntos, ver figura 21.12, donde se representa el enderezado de una estructura abombada. Cuando las

secciones son mayores puede ser necesario aplicar líneas de calor (ver figura 21.13).

En la figura 21.14 se indica la forma de enderezar utilizando calentamientos en forma de cuña.

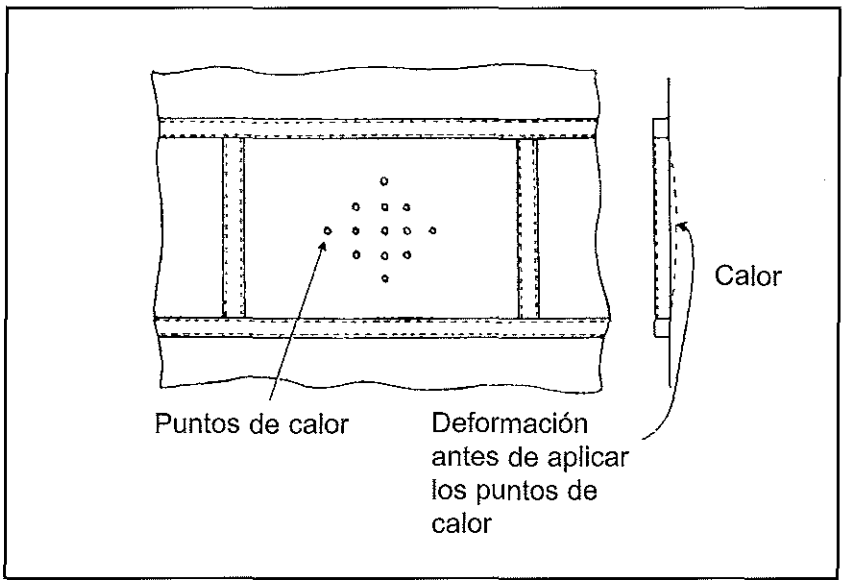


FIGURA 21.12: ENDEREZADO MEDIANTE PUNTOS DE CALOR

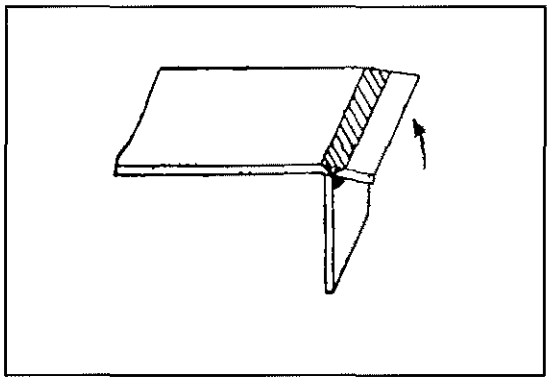


FIGURA 21.13: ENDEREZADO DE UNA PIEZA SOLDADA EN ÁNGULO MEDIANTE LÍNEA DE CALOR

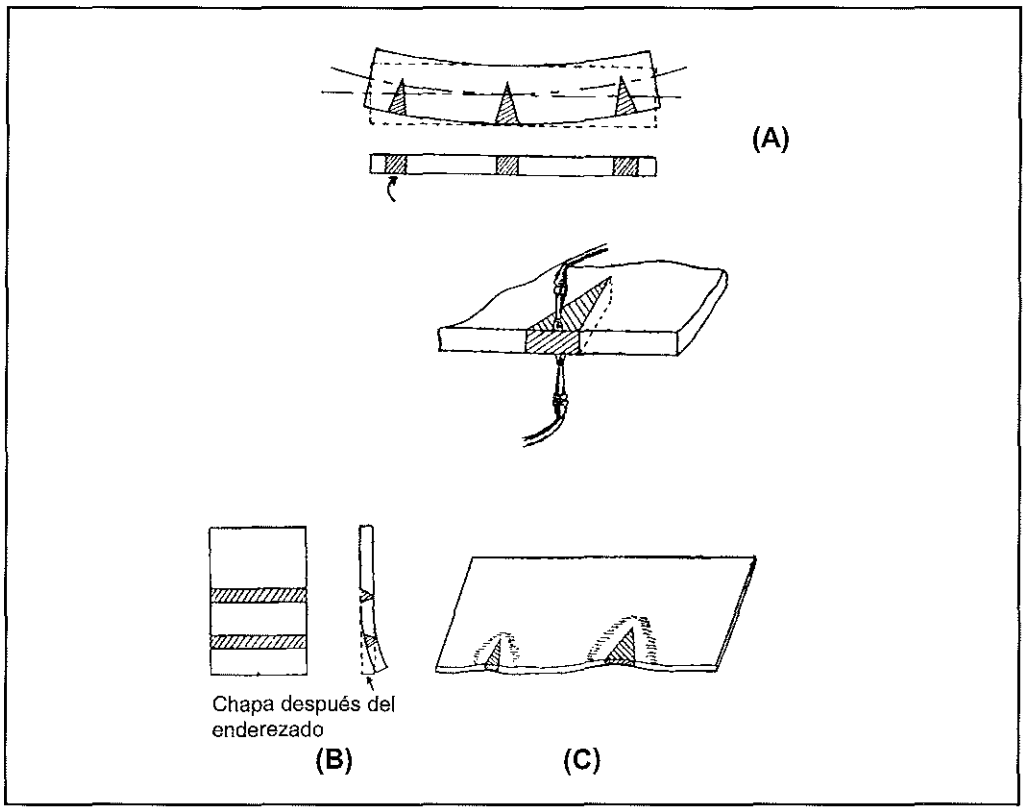


FIGURA 21.14: (A) ENDEREZADO POR CALENTAMIENTO LOCAL EN FORMA DE CUÑA. PUEDE REALIZARSE SOBRE AMBAS SUPERFICIES AL MISMO TIEMPO. (B) ENDEREZADO DE CAPA CURVADA. (C) ENDEREZADO DE CHAPA ALABEADA

Capítulo 22

Aceros al Carbono

INDICE

22.1. Composición química del acero 442

22.2. Soldabilidad de los aceros 443

22.2.1. Efecto del hidrógeno 444

22.3. Tipos de aceros al carbono 444

22.3.1. Aceros de bajo contenido en carbono 444
22.3.2. Aceros de contenidos medios en carbono 444
22.3.3. Aceros de alto contenido en carbono 445

22.4. Tratamiento térmico postsoldeo 446

22.5. Soldeo por arco con electrodo revestido 446

22.6. Soldeo TIG 450

22.7. Soldeo MAG 453

22.8. Soldeo por arco con alambre tubular 454

22.9. Soldeo por arco sumergido 456

22.10. Soldeo oxigás 460

22.11. Soldeo fuerte 460

22.1. Composición Química del Acero

Los aceros que se emplean en la industria son aleaciones y no metales puros como el hierro, el oro, la plata, el estaño... De sus numerosos componentes **el hierro** es el elemento que entra en mayor proporción y **el carbono** el que ejerce influencia más decisiva en sus propiedades, características y tratamientos.

El hierro es un elemento metálico capaz de alearse con el carbono desde el 0% al 6,67% de este elemento.

Según el contenido en carbono varían sus propiedades y características. Así, en la práctica, con un contenido en carbono inferior al 1,7% se conoce la aleación con el nombre de **acero**, material duro y elástico capaz de absorber impactos y que puede deformarse y extenderse en forma de alambres y chapas (figura 22.1).

Cuando el contenido en carbono es superior al 1,7%, la aleación recibe el nombre de **fundición**, material extremadamente duro y quebradizo que no puede ser deformado ni extendido en forma de alambres o chapas (figura 22.1).

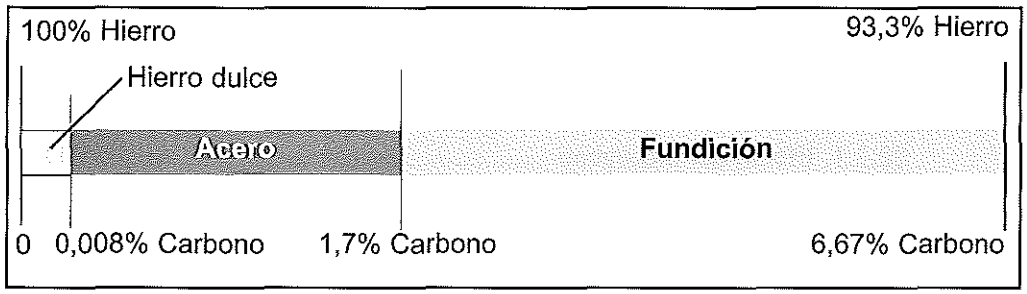


FIGURA 22.1: DIFERENCIA ENTRE ACERO Y FUNDICIÓN POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

El acero es uno de los materiales más utilizados debido a sus propiedades; existen muchas variedades de aceros: aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros al cromo-molibdeno, aceros al carbono-manganeso, aceros de herramientas, aceros inoxidables, aceros para muelles, etc. que se distinguen por su composición química y propiedades. Sin embargo, se pueden obtener diferentes propiedades y características de un acero con una determinada composición química tratándolo térmicamente.

Los **aceros al carbono,** también denominados no aleados, poseen en su composición hierro, carbono, pequeñas cantidades de manganeso (normalmente inferiores al 1,6%) y silicio (normalmente por debajo del 0,55%), como impurezas poseen fósforo y azufre, el contenido de estos elementos actualmente está limitado a un máximo del 0,035% por ser sumamente perjudiciales. Estos aceros suelen

tener un límite elástico inferior a 355 N/mm^2 y una carga de rotura inferior a 520 N/mm^2, estando su alargamiento comprendido entre el 10% y el 30%.

22.2. Soldabilidad de los Aceros

El principal problema que se puede encontrar al realizar el soldeo de un acero es la posibilidad de que se produzca el temple de la zona fundida y/o de la zona afectada térmicamente, con el endurecimiento y pérdida de tenacidad que ello supone y por tanto con la posibilidad de producción de grietas.

Al realizar una soldadura sólo se calienta una zona de la pieza, la cual se enfría mucho más rápidamente que si se hubiera calentado toda ella, debido a que la zona que permanece fría facilitará la transmisión del calor y el enfriamiento de la zona calentada a gran velocidad, se puede producir un endurecimiento y la formación de grietas.

Por tanto, la soldabilidad de los aceros es tanto peor cuanto:

- Mayor sea el contenido en carbono y elementos de aleación del acero, ya que mayor será su facilidad para templar y por tanto más fácilmente se producirán grietas.

- Mayor sea la velocidad de enfriamiento de la pieza. La pieza enfriará más rápidamente cuanto:

  - Mayor sea el espesor de la pieza.

  - Mayor sea el número de caminos que tiene el calor para disiparse. Por ejemplo, una soldadura en ángulo se enfriará más rápidamente que una soldadura a tope porque el calor puede transmitirse a través de más caminos, ver figura 22.2.

  - Menor sea la temperatura inicial de la pieza. Para reducir la velocidad de enfriamiento a veces se precalienta el acero. Siempre será necesario que la temperatura mínima de las piezas entre pasadas sea la de precalentamiento.

  - Menor sea el aporte térmico. Por esta razón algunas veces se requieren aportes térmicos elevados para lo que se utilizarán: electrodos de gran diámetro, altas intensidades y velocidades de desplazamiento. El aporte térmico, sin embargo, nunca debe ser excesivo.

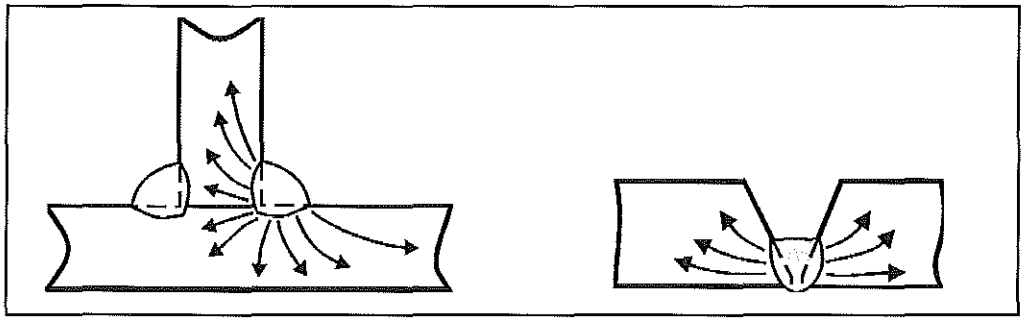


FIGURA 22.2: COMPARACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR EN UNA SOLDADURA EN ÁNGULO Y EN UNA A TOPE

22.2.1. Efecto del hidrógeno

Durante el soldeo se puede introducir hidrógeno en el cordón de soldadura y en la ZAT, este hidrógeno puede causar grietas sobre todo cuando el acero ha endurecido. Por esta razón es necesario muchas veces realizar el soldeo con electrodos básicos (de bajo contenido en hidrógeno) perfectamente secos. En general los procesos protegidos con gas introducen menores cantidades de hidrógeno; sin embargo eso no significa que no se requiera ninguna precaución cuando se realiza el soldeo con estos procesos.

22.3. Tipos de Aceros al Carbono

22.3.1. Aceros de bajo contenido en carbono

En este grupo se encuentran los aceros con carbono menor de 0,15% y manganeso menor de 0,8%.

Estos aceros no suelen endurecerse durante el soldeo, por lo que no suelen requerir ningún tipo de precaución especial para prevenir la formación de grietas.

Sin embargo, cuando se suelden piezas de grandes espesores (mayores de 100 mm), puede ser necesario utilizar electrodos de bajo contenido en hidrógeno (básicos) o un ligero precalentamiento para asegurarse de que no se producirán grietas.

22.3.2. Aceros de contenidos medios en carbono

En este grupo se encuentran los:

- aceros con carbono mayor de 0,15%, pero menor de 0,25% y manganeso menor de 0,8%.
- aceros al carbono manganeso con contenidos en carbono menores del 0,2% y manganeso menor del 1,4%.

En estos aceros se utilizarán electrodos básicos o procesos que favorezcan el bajo contenido en hidrógeno, como por ejemplo TIG y MAG. También se podrá incrementar el aporte térmico mediante bajas velocidades o electrodos de gran diámetro. Cuando el espesor de la pieza sea elevado, o sea imprescindible utilizar electrodos de pequeño diámetro, se precalentarán las piezas.

22.3.3. Aceros de alto contenido en carbono

En este grupo se encuentran los aceros al carbono manganeso con contenidos en carbono mayores del 0,25% e inferiores al 1% con contenidos de manganeso mayores del 1%.

Estos aceros tienen mayor tendencia a endurecer y se deberán utilizar procesos o electrodos de bajo hidrógeno, así como precalentamientos y temperaturas entre pasadas de hasta 350° C. En algunos casos se puede evitar el precalentamiento si se utiliza un proceso de alto aporte térmico; sin embargo, los procesos de alto aporte térmico deben aplicarse con cuidado sobre todo en las primeras pasadas.

En la tabla 22.1 se resume lo anteriormente indicado.

Tipo de acero	Aplicaciones típicas	Precauciones durante el soldeo
Bajo carbono C < 0,15 % Mn < 0,8%	Chapas, flejes, electrodos, perfiles, barras, acero estructural	Normalmente ninguna
Medio carbono 0,15% < C < 0,25% y Mn < 0,8 % C < 0,2 % y Mn < 1,4%	Elementos de máquinas. Herramientas	Se recomiendan electrodos básicos o procesos protegidos por gas (TIG, MAG). Puede requerirse precalentamiento en las piezas de gran espesor o cuando se utilicen electrodos de pequeños diámetro.
Alto carbono 0,25% < C < 1% y Mn > 1%	Muelles, troqueles, moldes, raíles	Precalentamiento (250-350° C). Puede no requerirse precalentamiento con procesos de alto aporte térmico (electrodos gruesos)

TABLA 22.1: PRECAUCIONES DURANTE EL SOLDEO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ACERO

22.4. Tratamiento Térmico Postsoldeo

Los aceros de contenido medio y alto en carbono suelen requerir tratamiento térmico postsoldeo, para lo cual se puede trasladar la pieza antes de que se enfríe a un horno donde permanecerá a la temperatura especificada el tiempo adecuado. Si no es posible realizar el tratamiento inmediatamente, se deberá mantener a la temperatura de precalentamiento durante 2 -3 horas por cada 25 mm de espesor.

22.5. Soldeo por Arco con Electrodo Revestido

Este es un proceso muy utilizado para los aceros al carbono. En la figura 22.3 se indica las designaciones de los electrodos revestidos según AWS y en las figuras 22.4 y 22.5 según la Norma UNE-EN ISO 2560. Esta última establece dos sistemas de clasificación distintos, pudiéndose utilizar uno u otro indistintamente. Como regla general, se utilizarán electrodos con cargas de rotura iguales a los del metal base, por tanto los electrodos E 60 XX (según AWS) se utilizarán para aceros de bajo y medio contenido en carbono, los electrodos E 70 XX para aceros de mayor resistencia. Cuando el acero es de alto contenido en carbono a veces se utilizan electrodos de baja aleación (ver capítulo 23). Los electrodos básicos se utilizarán para los aceros de medio y alto carbono; en este caso se deberán emplear perfectamente secos por lo que se secarán en hornos a la temperatura recomendada por el fabricante.

Ejemplos de designación según ANSI/AWS A5.1-04:

- E 7016: Electrodo básico que se emplea en cualquier posición con CCEP ó CA, cuya carga de rotura es 70 Ksi = 490 MPa.
- E 6013: Electrodo de rutilo que se emplea en cualquier posición con CCEP, CCEN o CA, cuya carga de rotura es 60 Ksi = 430 MPa
- E 7018: Electrodo básico de gran rendimiento para soldeo en todas las posiciones con corriente continua electrodo positivo o corriente alterna. Carga de rotura 70 Ksi = 490 MPa.

1. La designación de un electrodo o varilla según EN o AWS consiste en una serie de letras o números. Cada uno de ellos representa una propiedad característica del material de aportación, o del metal de soldadura que se obtiene con ese metal de aportación

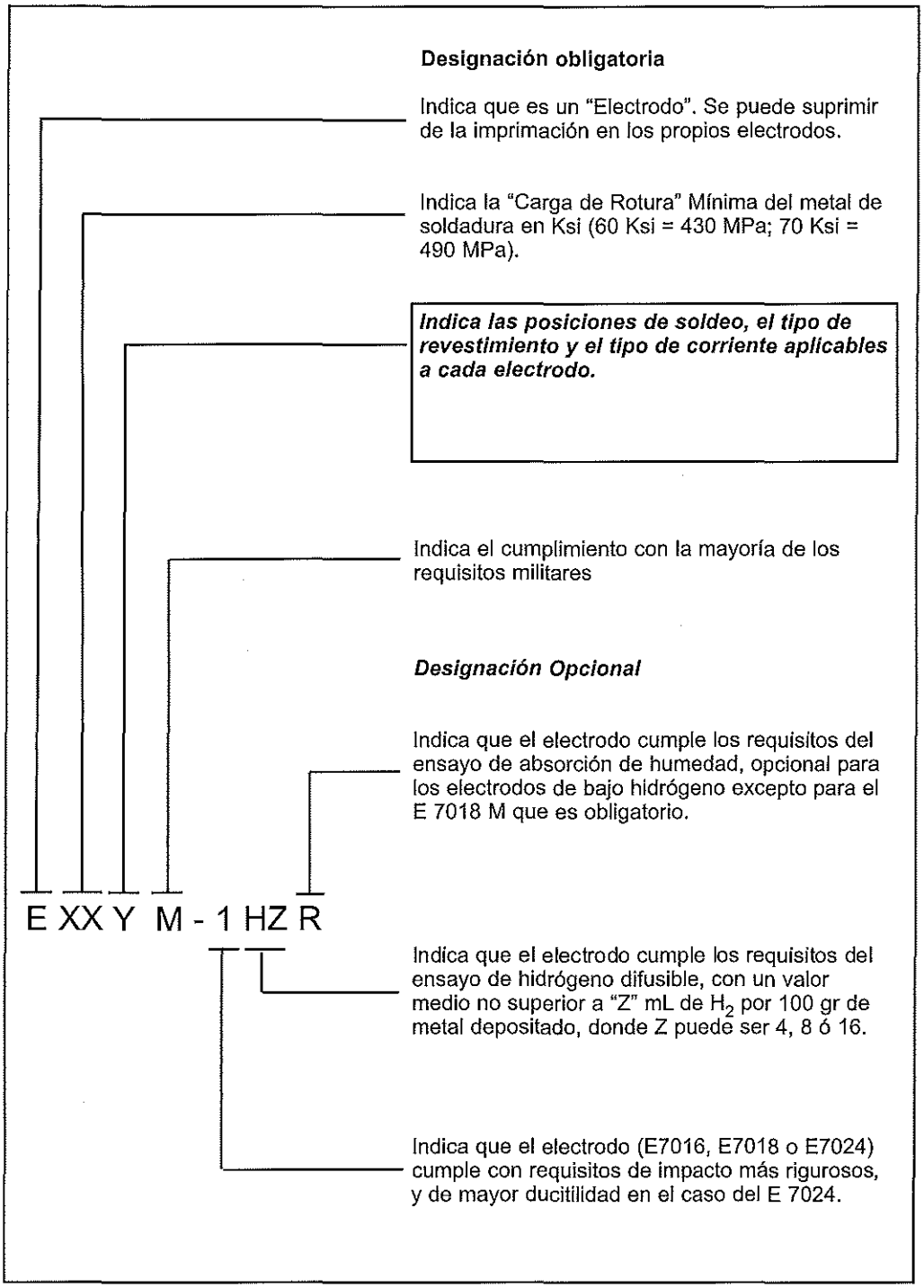
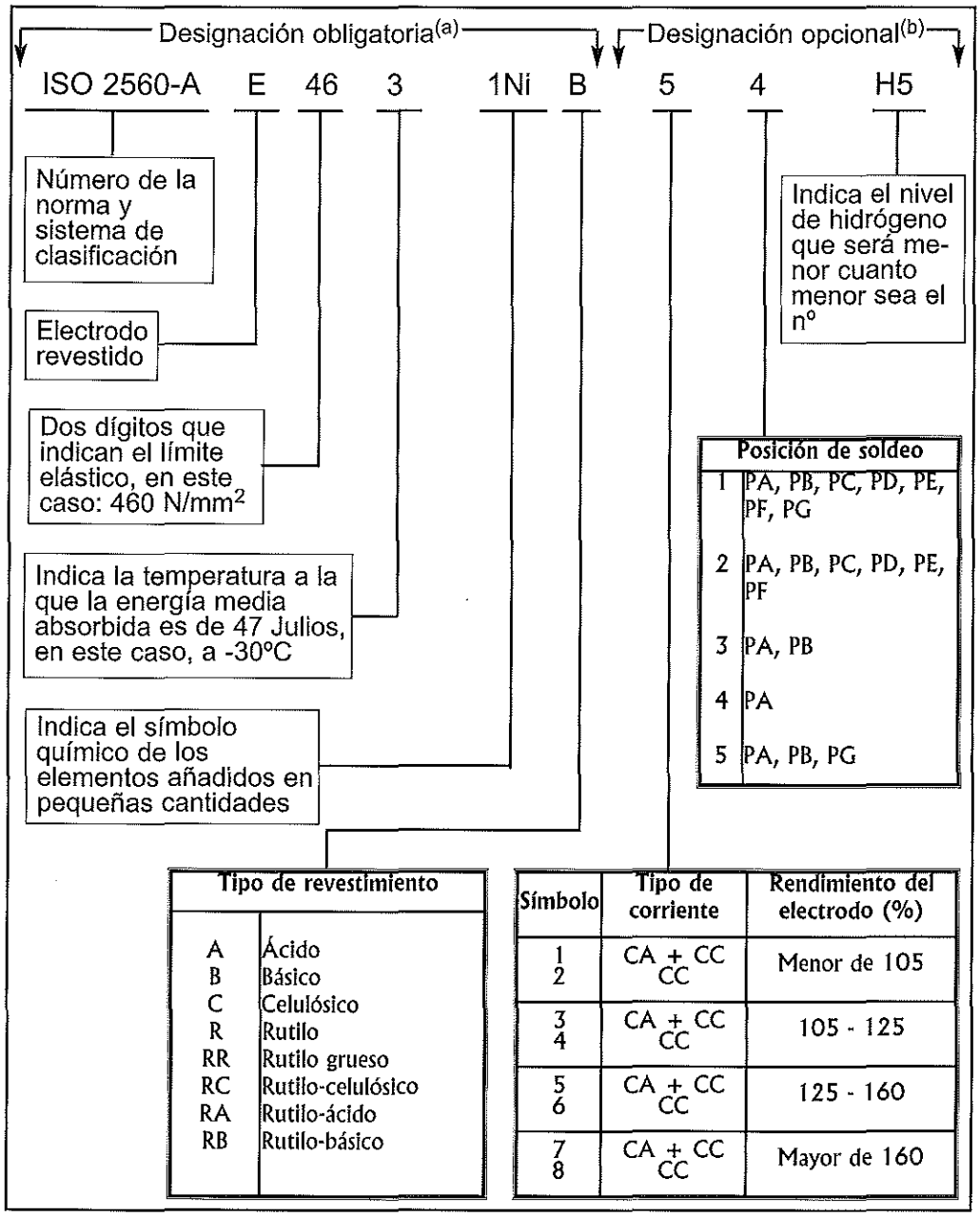

Designación obligatoria
Indica que es un "Electrodo". Se puede suprimir de la imprimación en los propios electrodos.
Indica la "Carga de Rotura" Mínima del metal de soldadura en Ksi (60 Ksi = 430 MPa; 70 Ksi = 490 MPa).
Indica las posiciones de soldeo, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente aplicables a cada electrodo.
Indica el cumplimiento con la mayoría de los requisitos militares
Designación Opcional
Indica que el electrodo cumple los requisitos del ensayo de absorción de humedad, opcional para los electrodos de bajo hidrógeno excepto para el E 7018 M que es obligatorio.
E XX Y M - 1 HZ R
Indica que el electrodo cumple los requisitos del ensayo de hidrógeno difusible, con un valor medio no superior a "Z" mL de H_2 por 100 gr de metal depositado, donde Z puede ser 4, 8 ó 16.
Indica que el electrodo (E7016, E7018 o E7024) cumple con requisitos de impacto más rigurosos, y de mayor ducitilidad en el caso del E 7024.

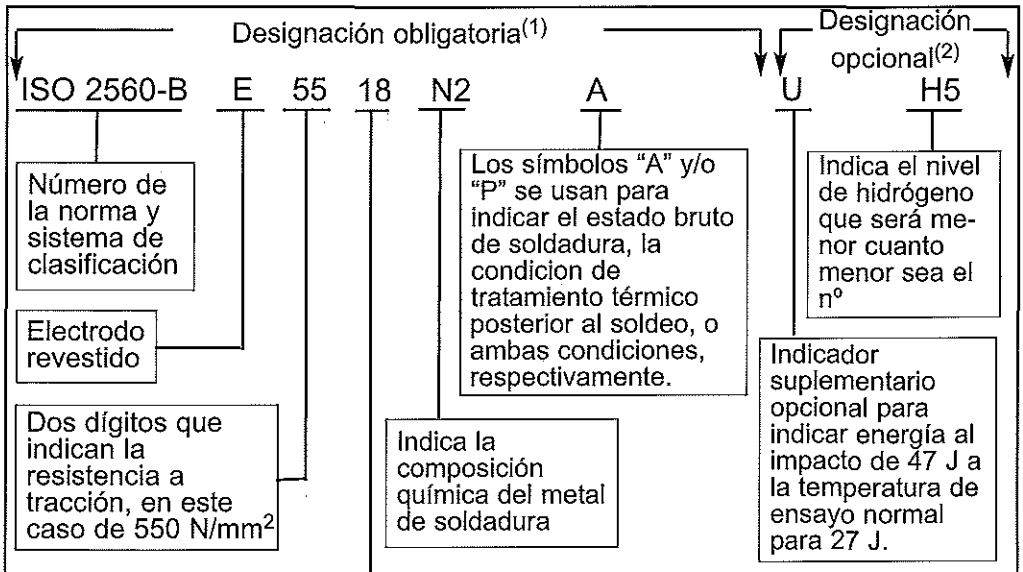
FIGURA 22.3: DESIGNACION Y CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS AL CARBONO DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.1-04


Designación obligatoria(a)
Designación opcional(b)
ISO 2560-A E 46 3 1Ni B 5 4 H5
Número de la norma y sistema de clasificación
Electrodo revestido
Dos dígitos que indican el límite elástico, en este caso: 460 N/mm2
Indica la temperatura a la que la energía media absorbida es de 47 Julios, en este caso, a -30°C
Indica el símbolo químico de los elementos añadidos en pequeñas cantidades
Indica el nivel de hidrógeno que será menor cuanto menor sea el nº
Posición de soldeo
1 PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG
2 PA, PB, PC, PD, PE, PF
3 PA, PB
4 PA
5 PA, PB, PG
Tipo de revestimiento
A Ácido
B Básico
C Celulósico
R Rutilo
RR Rutilo grueso
RC Rutilo-celulósico
RA Rutilo-ácido
RB Rutilo-básico
Símbolo | Tipo de corriente | Rendimiento del electrodo (%)
1 2 | CA + CC / CC | Menor de 105
3 4 | CA + CC / CC | 105 - 125
5 6 | CA + CC / CC | 125 - 160
7 8 | CA + CC / CC | Mayor de 160

a La combinación de estos indicadores constituye la clasificación del electrodo revestido.

b Estos indicadores son opcionales y no forman parte de la clasificación del electrodo revestido.

FIGURA 22.4: DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS POR EL SOLDEO DE ACEROS NO ALEADOS DE ACUERDO CON UNE-EN ISO 2560:2006 (SISTEMA DE CLASIFICACIÓN A)


Designación obligatoria(1)
Designación opcional(2)
ISO 2560-B
E
55
18
N2
A
U
H5
Número de la norma y sistema de clasificación
Electrodo revestido
Dos dígitos que indican la resistencia a tracción, en este caso de 550 N/mm2
Indica la composición química del metal de soldadura
Los símbolos "A" y/o "P" se usan para indicar el estado bruto de soldadura, la condicion de tratamiento térmico posterior al soldeo, o ambas condiciones, respectivamente.
Indicador suplementario opcional para indicar energía al impacto de 47 J a la temperatura de ensayo normal para 27 J.
Indica el nivel de hidrógeno que será menor cuanto menor sea el nº

Símbolo	Tipo de revestimiento	Posiciones de soldeo [a]	Tipo de corriente
03	Rutilo Básico	Todas [b]	c.a. y c.c. (±)
10	Celulósico	Todas	c.c. (+)
11	Celulósico	Todas	c.a. y c.c. (+)
12	Rutilo	Todas [b]	c.a. y c.c. (-)
13	Rutilo	Todas [b]	c.a. y c.c. (±)
14	Rutilo + Hierro en polvo	Todas [b]	c.a. y c.c. (±)
15	Básico	Todas [b]	c.c. (-)
16	Básico	Todas [b]	c.a. y c.c. (+)
18	Básico + Hierro en polvo	Todas [b]	c.a. y c.c. (+)
19	Ilmenita	Todas [b]	c.a. y c.c. (±)
20	Óxido de Hierro	PA, PB	c.a. y c.c. (-)
24	Rutilo + Hierro en polvo	PA, PB	c.a. y c.c. (±)
27	Óxido de hierro + Hierro en polvo	PA, PB	c.a. y c.c. (-)
28	Básico + Hierro en polvo	PA, PB, PC	c.a. y c.c. (+)
40	No especificado	Recomendaciónes del fabricante	Recomendaciónes del fabricante
48	Básico	Todas	c.a. y c.c. (+)

NOTA En el anexo C se da una descripción de las características de cada uno de los tipos de revestimiento.

[a] Las posiciones están definidas en la Norma ISO 6947. PA = plano, PB = en ángulo, PC = cornisa, PG = vertical descendente

[b] Todas las posiciones puede incluir o no el soldeo en vertical descendente. Esto debe especificarse en la literatura comercial del fabricante

1 La combinación de estos indicadores constituye la clasificación del electrodo revestido.

2 Estos indicadores son opcionales y no forman parte de la clasificación del electrodo revestido.

FIGURA 22.5: DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS POR EL SOLDEO DE ACEROS NO ALEADOS DE ACUERDO CON UNE-EN ISO 2560:2006 (SISTEMA DE CLASIFICACIÓN B)

Ejemplo 1A de designación según UNE-EN ISO 2560:

- ISO 2560-A E 46 3 1Ni B 54 H5
  Un electrodo revestido para el soldeo manual por arco que deposita un metal de soldadura con un límite elástico mínimo de 460 N/mm^2 (46), una energía al impacto media mínima de 47 J a -30°C (3), con una composición química de 1,1% Mn y 0,7 % Ni (1Ni), con un revestimiento básico (B) y un rendimiento nominal del 140%, que se puede usar con c.a. y c.c. (5) en soldaduras a tope planas y soldaduras en ángulo planas (4), cuyo contenido en hidrógeno esta determinado de acuerdo con la Norma ISO 3690 y no supera 5 ml/100 g de metal depositado (H5).

Ejemplo 1B de designación según UNE-EN ISO 2560:

- ISO 2560-B E55 18-N2 A U H5
  Un electrodo revestido para el soldeo manual por arco que deposita un metal de soldadura con una resistencia a la tracción mínima de 550 N/mm^2 (55), que cumple un requisito de impacto a 47 J a -40°C (U) en estado bruto de soldadura y también supera los 27 J a -40°C en estado bruto de soldadura (A), con una composición química de 1,1% Mn y 1% NI (-N2), con un revestimiento básico que incluye hierro en polvo, que se puede usar con c.a. y c.c. (+) en todas posiciones excepto vertical descendente (18), cuyo contenido de hidrógeno está determinado de acuerdo con la Norma ISO 3690 y no supera 5 ml/100 g de metal depositado (H5).

22.6. Soldeo TIG

La calidad de las soldaduras TIG de aceros al carbono está más influida por las impurezas del metal base (grasa, aceites, polvo, óxidos) o por la calidad del metal base que en las soldaduras obtenidas con otros procesos, como soldeo con electrodos revestidos o por arco sumergido. Esto es debido a que en el proceso TIG no existen fundentes que retengan dichas impurezas.

La designación americana AWS de las varillas de aportación es la misma que la de los alambres para soldeo MIG/MAG de acuerdo con la norma ANSI/AWS A5.18, ver figura 22.6. La norma europea EN diferencia las designaciones de los dos procesos, siendo la aplicable al TIG la UNE-EN 1668 (ver figura 22.7).

El argón es el gas de protección más utilizado, pudiéndose añadir helio para espesores mayores de 12 mm. No se necesita gas de respaldo para el soldeo de estos aceros. En la tabla 22.2 se indican los gases recomendados.

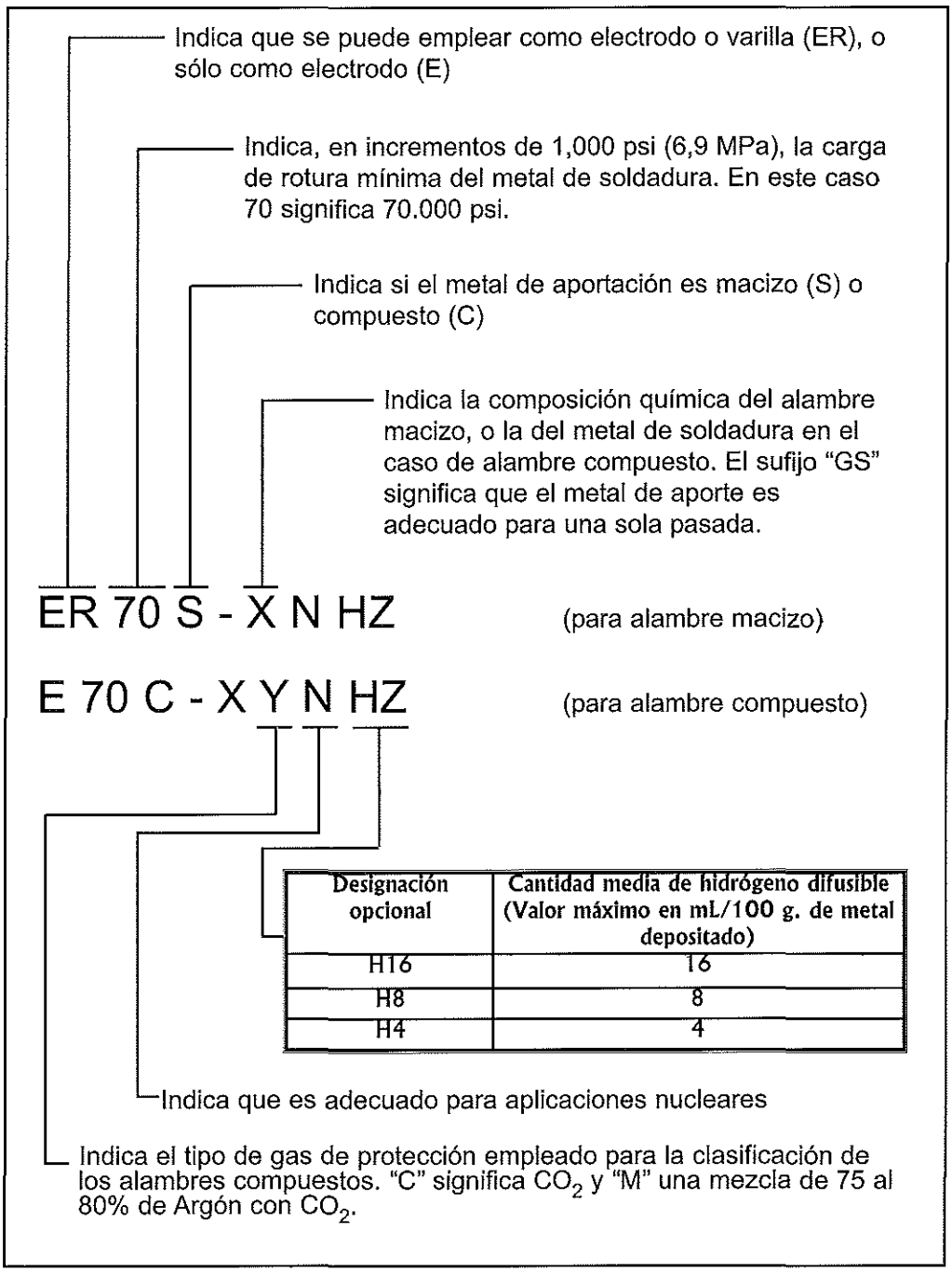
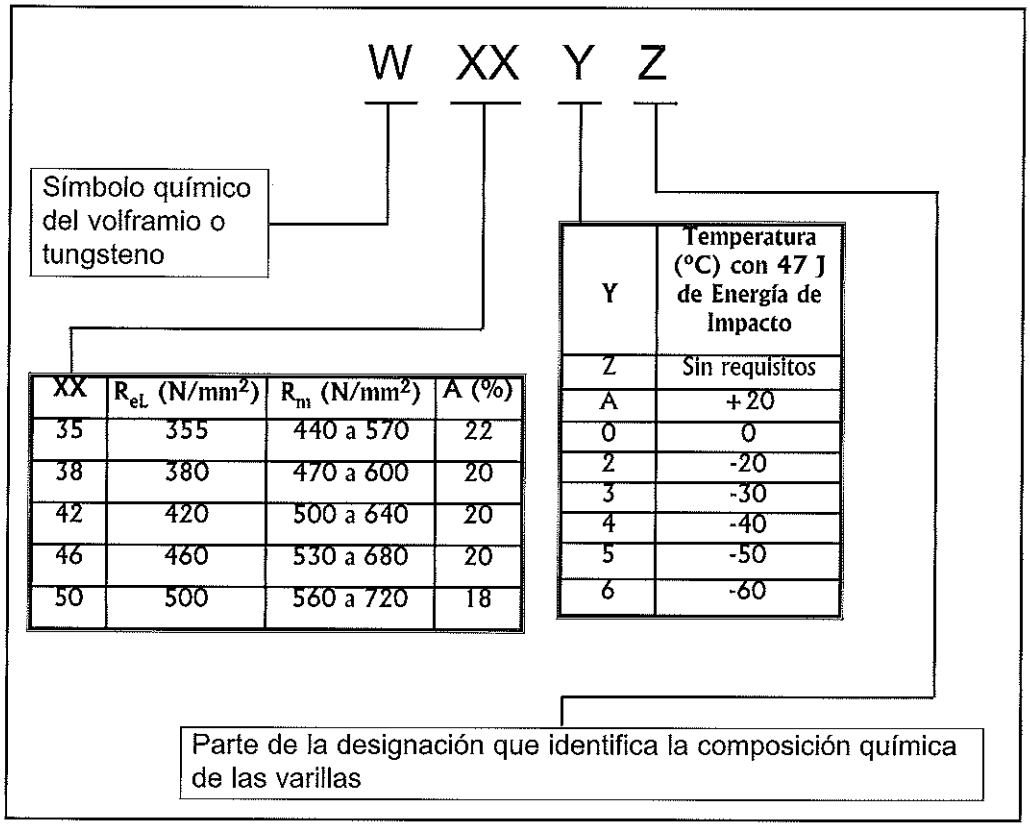

Indica que se puede emplear como electrodo o varilla (ER), o sólo como electrodo (E)
Indica, en incrementos de 1,000 psi (6,9 MPa), la carga de rotura mínima del metal de soldadura. En este caso 70 significa 70.000 psi.
Indica si el metal de aportación es macizo (S) o compuesto (C)
Indica la composición química del alambre macizo, o la del metal de soldadura en el caso de alambre compuesto. El sufijo "GS" significa que el metal de aporte es adecuado para una sola pasada.
ER 70 S - X N HZ
(para alambre macizo)
E 70 C - X Y N HZ
(para alambre compuesto)
Designación opcional
Cantidad media de hidrógeno difusible (Valor máximo en mL/100 g. de metal depositado)
H16
16
H8
8
H4
4
Indica que es adecuado para aplicaciones nucleares
Indica el tipo de gas de protección empleado para la clasificación de los alambres compuestos. "C" significa CO_2 y "M" una mezcla de 75 al 80% de Argón con CO_2.

FIGURA 22.6: CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES Y VARILLAS PARA EL SOLDEO PROTEGIDO CON GAS DE ACEROS AL CARBONO DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.18-2005


W XX Y Z
Símbolo químico del volframio o tungsteno
Parte de la designación que identifica la composición química de las varillas

XX	R_{eL} (N/mm²)	R_m (N/mm²)	A (%)
35	355	440 a 570	22
38	380	470 a 600	20
42	420	500 a 640	20
46	460	530 a 680	20
50	500	560 a 720	18

Y	Temperatura (°C) con 47 J de Energía de Impacto
Z	Sin requisitos
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

FIGURA 22.7: DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARILLAS, ALAMBRES Y DEPÓSITOS PARA SOLDEO TIG, DE ACUERDO CON UNE-EN 1668:1997 UTILIZANDO EN 439-I1 (100% ARGÓN) COMO GAS DE PROTECCIÓN

Espesor de piezas	Tipo de corriente	Electrodo de volframio	Gas de protección
Menor de 3 mm	Alterna	Volframio puro o con circonio EWP, EWZr-1	Argón
Todos	Corriente continua, electrodo negativo	Con torio EWTh-2	Argón Argón + Helio

TABLA 22.2: GASES DE PROTECCIÓN Y TIPOS DE CORRIENTE UTILIZADOS EN EL SOLDEO TIG DE ACEROS AL CARBONO

- 452 -

22.7. Soldeo MAG

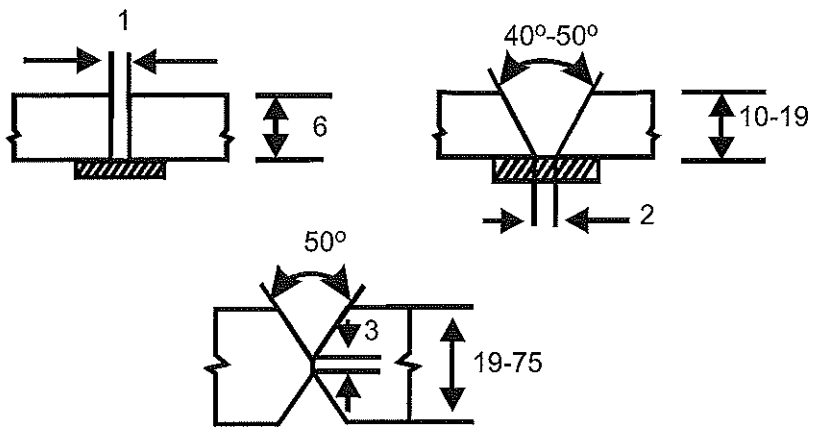
Para acero al carbono siempre se utilizan gases de protección activos (ver tabla 22.3) por lo que el proceso de soldeo se denomina MAG.

Transferencia en cortocircuito	Transferencia en spray	Transferencia con arco pulsado
CO_2	Argón + 1-8% Oxígeno	Argón + 2-8% Oxígeno
Argón + 15-25% CO_2	ARgón + 5-20% CO_2	Argón + 5-20% CO_2
Argón + 50% CO_2	Argón + CO_2 + O_2	Argón + CO_2 + Oxígeno
Ar + CO_2 + O_2		

TABLA 22.3: GASES DE PROTECCIÓN PARA SOLDEO MAG DE LOS ACEROS AL CARBONO

Los gases más utilizados para el soldeo MAG del acero al carbono son: CO_2, argón + CO_2 y argón + oxígeno; su selección depende del tipo de transferencia y de la composición del alambre . Uno de los gases más utilizados es el 85/15 formado por un 85% argón y un 15% de CO_2. Se utiliza el dióxido de carbono (CO_2) para los aceros de bajo y medio contenido en carbono, en la tabla 22.3 se indican los gases en función de la transferencia de metal.

Se disminuirán las intensidades y voltajes para posiciones bajo techo. Para transferencias spray se deberá cambiar de gas (ver tabla 22.3) y se recomiendan las siguientes preparaciones.



Preparaciones para soldeo MAG con arco spray

La norma europea que clasifica a los alambres y depósitos para soldeo por arco con protección gaseosa de los aceros no aleados y de grano fino es la UNE-EN 440, ver figura 22.8

22.8. Soldeo por Arco con Alambre Tubular

Se puede utilizar con o sin protección gaseosa, aunque normalmente con gas de protección se obtienen mejores resultados. No se deberá utilizar un alambre diseñado para soldar con protección gaseosa sin gas de protección. Tampoco se debe utilizar un alambre para pasada simple en procesos de pasadas múltiples.

Los gases de protección utilizados son CO_2 y CO_2 + Ar.

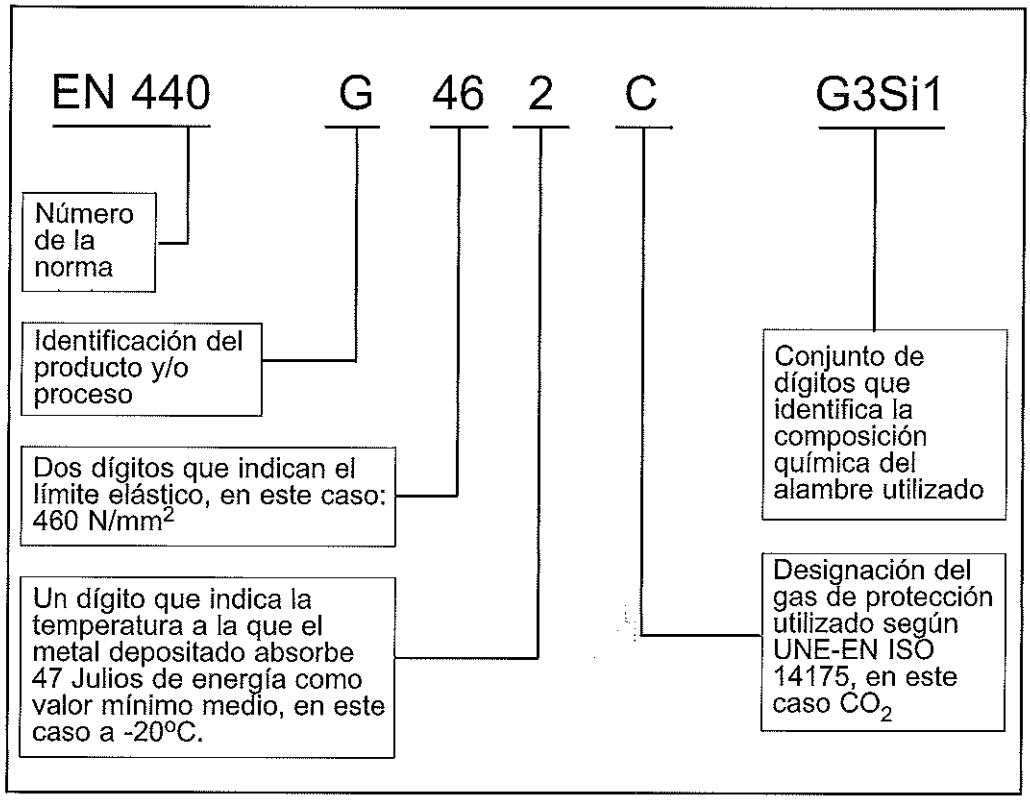

EN 440
G
46
2
C
G3Si1
Número de la norma
Identificación del producto y/o proceso
Dos dígitos que indican el límite elástico, en este caso: 460 N/mm2
Un dígito que indica la temperatura a la que el metal depositado absorbe 47 Julios de energía como valor mínimo medio, en este caso a -20ºC.
Conjunto de dígitos que identifica la composición química del alambre utilizado
Designación del gas de protección utilizado según UNE-EN ISO 14175, en este caso CO2

FIGURA 22.8: CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES DE DEPÓSITOS PARA SOLDEO POR ARCO CON PROTECCIÓN GASEOSA DE LOS ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO SEGUN UNE-EN 440:1995

Designación obligatoria

Indica que es un alambre "Tubular"

Y	Temperatura (°C) con 47 J de Energía de Impacto
Z	Sin requisitos
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

AA	R_{el} (N/mm²)	R_m(N/mm²)	A (%)
Una pasada			
3T	355	470	
4T	420	520	
5T	500	600	
Pasadas múltiples			
35	355	440 a 570	22
38	380	470 a 600	20
42	420	500 a 640	20
46	460	590 a 680	20
50	500	560 a 720	18

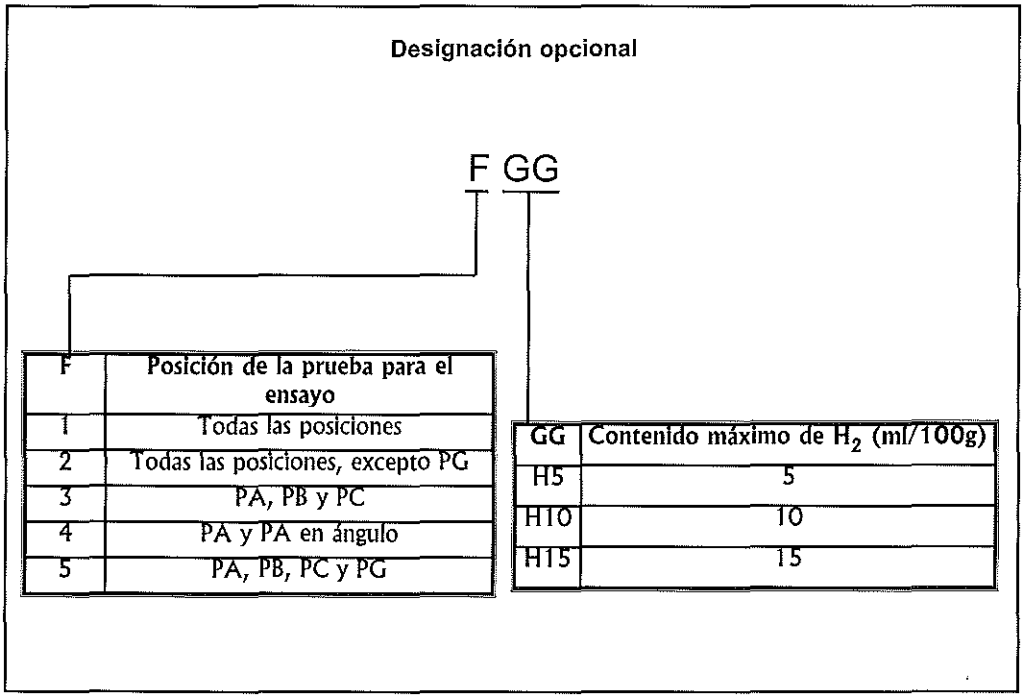
Parte de la designación que identifica la composición química del metal depositado

T AA B CCC D E

E	Gas (UNE-EN ISO 14175)	Observación
M	M2	Sin helio
C	C1	CO_2 100%
N	--	Sin gas de protección

D	Características	Tipo de soldeo	Gas de protección
R	Rutilo, escoria de solidificación lenta	Una pasada y Multipasadas	Requerido
P	Rutilo, escoria de solidificación rápida	Una pasada y Multipasadas	Requerido
B	Básico	Una pasada y Multipasadas	Requerido
M	Polvo metálico	Una pasada y Multipasadas	Requerido
V	Rutilo o fluoruro básico	Una pasada	No requerido
W	Fluoruro básico, escoria de solidificación rápida	Una pasada y Multipasadas	No requerido
Y	Fluoruro básico, escoria de solidificación rápida	Una pasada y Multipasadas	No rquerido
Z	Otros tipos		

FIGURA 22.9: CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES TUBULARES PARA EL SOLDEO POR ARCO CON Y SIN GAS DE PROTECCIÓN DE LOS ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO DE ACUERDO CON UNE-EN 758:1997



F	Posición de la prueba para el ensayo
1	Todas las posiciones
2	Todas las posiciones, excepto PG
3	PA, PB y PC
4	PA y PA en ángulo
5	PA, PB, PC y PG

GG	Contenido máximo de H_2 (ml/100g)
H5	5
H10	10
H15	15

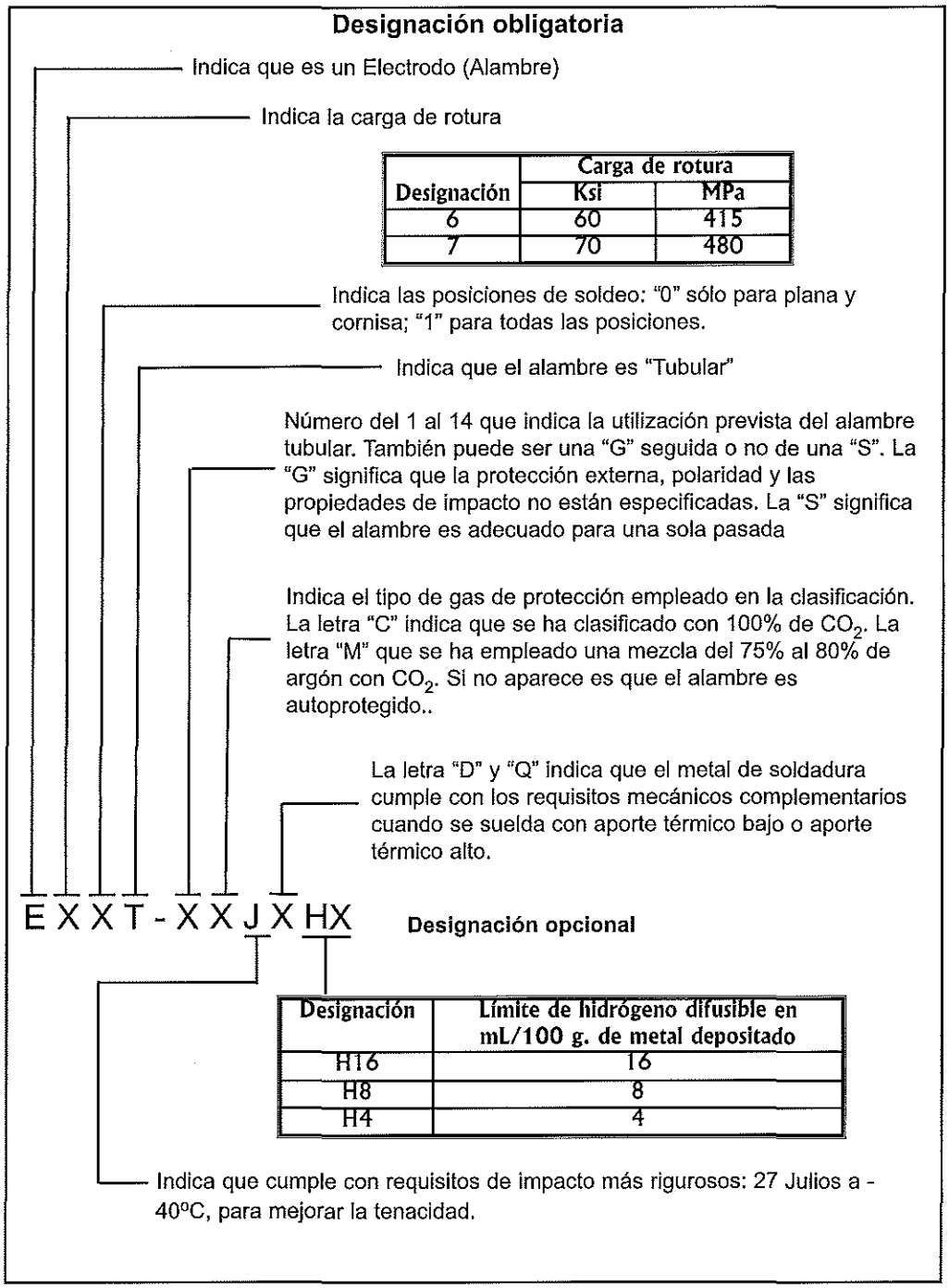
FIGURA 22.9 (CONTINUACIÓN): CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES TUBULARES PARA EL SOLDEO POR ARCO CON Y SIN GAS DE PROTECCIÓN DE LOS ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO DE ACUERDO CON UNE-EN 758:1997

Normalmente la polaridad empleada es la inversa (CCEP) , sin embargo a veces se puede utilizar polaridad directa (CCEN) con electrodos con fundente básico y para realizar recargues.

La norma europea donde se clasifican es la UNE-EN 758, ver figura 22.9, y la americana la ANSI/AWS A5.20, ver figura 22.10.

22.9. Soldeo por Arco Sumergido

Las designaciones de los alambres y fundentes se encuentran en las normas ANSI/AWS A5.17, (ver figura 22.11), UNE-EN 756 (ver figura 22.12) y UNE-EN 760. Es muy importante mantener el fundente seco y limpio.


Designación obligatoria
Indica que es un Electrodo (Alambre)
Indica la carga de rotura
Indica las posiciones de soldeo: "0" sólo para plana y cornisa; "1" para todas las posiciones.
Indica que el alambre es "Tubular"
Número del 1 al 14 que indica la utilización prevista del alambre tubular. También puede ser una "G" seguida o no de una "S". La "G" significa que la protección externa, polaridad y las propiedades de impacto no están especificadas. La "S" significa que el alambre es adecuado para una sola pasada
Indica el tipo de gas de protección empleado en la clasificación. La letra "C" indica que se ha clasificado con 100% de CO_2. La letra "M" que se ha empleado una mezcla del 75% al 80% de argón con CO_2. Si no aparece es que el alambre es autoprotegido..
La letra "D" y "Q" indica que el metal de soldadura cumple con los requisitos mecánicos complementarios cuando se suelda con aporte térmico bajo o aporte térmico alto.
E X X T - X X J X HX
Designación opcional
Indica que cumple con requisitos de impacto más rigurosos: 27 Julios a -40°C, para mejorar la tenacidad.

Designación	Carga de rotura	
	Ksi	MPa
6	60	415
7	70	480

Designación	Límite de hidrógeno difusible en mL/100 g. de metal depositado
H16	16
H8	8
H4	4

FIGURA 22.10: CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES TUBULARES APRA EL SOLDEO POR ARCO DE ACEROS AL CARBONO DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.20-2005

Designación obligatoria

Indica que es un "Fundente" para arco sumergido.

Indica que el fundente procede de escoria triturada, o que es una mezcla de escoria triturada con fundente no utilizado. Si no figura la S significa que el fundente no ha sido utilizado.

Indica la resistencia a la tracción mínima, en incrementos de 10MPa, del metal de soldadura

Designación	Carga de rotura, MPa
43	430 - 560
48	480 - 660

Indica el estado de tratamiento térmico. "A": según se soldó"; "P": con tratamiento térmico posterior al soldeo.

Indica la temperatura en °C a partir de la cual la resistencia al impacto del metal de soldadura es de 27 Julios como mínimo.

Indica la clasificación del alambre utilizado. "E" indica el electrodo (alambre), "C" en la segunda posición significa que el alambre es compuesto.

Clasificación	Significado
EC1	Se indica el nombre comercial del alambre
ECG	No se especifican requisitos al alambre

Si no aparece la letra "C" significa que el alambre es macizo.

F S X X X - ECXXX - HX **Designación opcional**

Designación	Cantidad media de hidrógeno difusible (Valor máximo en mL/100 g. de metal depositado)
H16	16
H8	8
H4	4
H2	2

FIGURA 22.11: CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES Y FUNDENTES PARA EL SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO DE ACEROS AL CARBONO DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.17-07

Ejemplos de designación según A5.17-07:

- F 43A2-EM12 K significa que se produce un metal de soldadura que, en la condición "según se soldó", tiene una carga de rotura de 430 a 560 MPa y una resistencia al impacto mínima de 27 Julios a -20°C, utilizando un alambre EM12K y un fundente nuevo.
- F 48P6-EC1 significa que se está utilizando un alambre compuesto conociéndose su nombre comercial. El fundente es nuevo y se produce un metal de soldadura, que, tras un tratamiento térmico posterior al soldeo, tiene una carga de rotura de 480 a 660 MPa y una resistencia al impacto mínima de 27 Julios a -60°C.

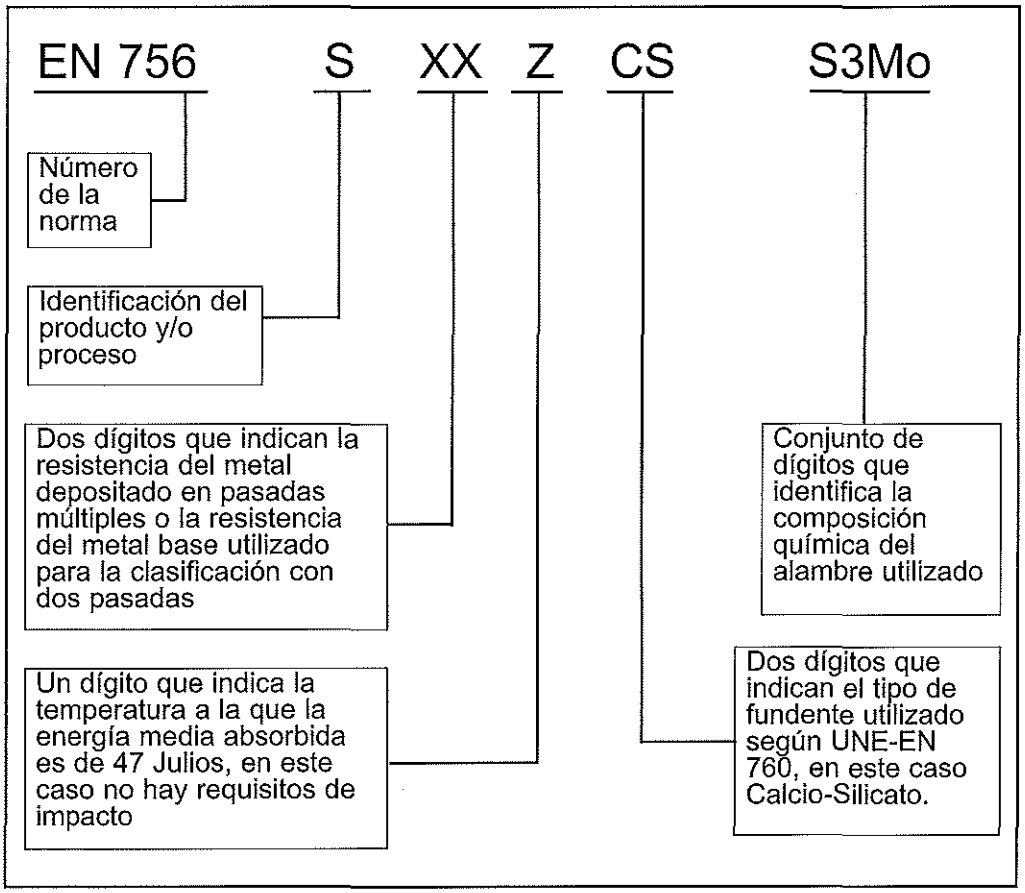

EN 756
S
XX
Z
CS
S3Mo
Número de la norma
Identificación del producto y/o proceso
Dos dígitos que indican la resistencia del metal depositado en pasadas múltiples o la resistencia del metal base utilizado para la clasificación con dos pasadas
Un dígito que indica la temperatura a la que la energía media absorbida es de 47 Julios, en este caso no hay requisitos de impacto
Conjunto de dígitos que identifica la composición química del alambre utilizado
Dos dígitos que indican el tipo de fundente utilizado según UNE-EN 760, en este caso Calcio-Silicato.

FIGURA 22.12: CLASIFICACION DE LOS ALAMBRES Y COMBINACIONES DE ALAMBRES-FUNDENTES PARA EL SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO DE ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO SEGUN UNE-EN 756:2005

22.10. Soldeo Oxigás

La mayoría de los aceros al carbono pueden soldarse por oxigás, sin embargo este proceso presenta numerosos inconvenientes como son gran lentitud durante el soldeo, producción de grandes deformaciones y posibilidad de que se produzcan imperfecciones con mayor frecuencia. La ZAT es muy ancha y se obtienen peores propiedades mecánicas.

Existen varillas de aportación para el soldeo oxigás especificadas en ANSI/AWS A5.2 (ver figura 22.13) aunque también se utilizan las varillas TIG. Se empleará llama neutra y se recomienda el acetileno como gas combustible.

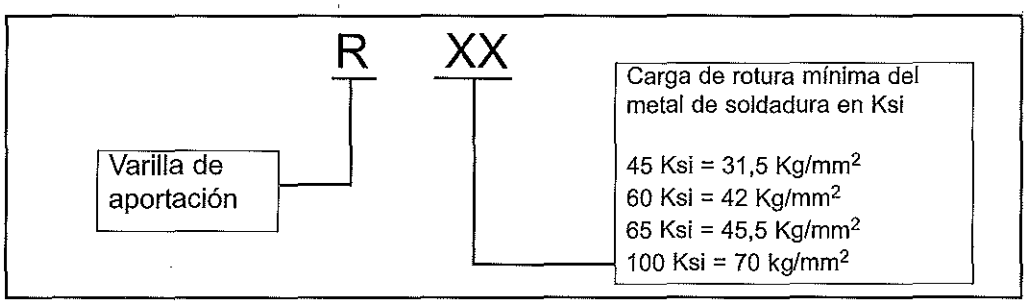

R
XX
Varilla de aportación
Carga de rotura mínima del metal de soldadura en Ksi
45 Ksi = 31,5 Kg/mm2
60 Ksi = 42 Kg/mm2
65 Ksi = 45,5 Kg/mm2
100 Ksi = 70 kg/mm2

FIGURA 22.13: VARILLAS DE APORTACIÓN PARA EL SOLDEO OXIGÁS DE ACEROS AL CARBONO Y DE BAJA ALECIÓN DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.2-07

22.11. Soldeo Fuerte

Los aceros al carbono pueden unirse mediante cualquier proceso de soldeo fuerte; los más utilizados son el soplete, horno e inducción.

Como metales de aportación se suelen utilizar los indicados en la tabla 22.4; en ella se recomiendan diversos materiales de aportación cuando se unen aceros al carbono entre sí o con otros materiales.

Acero al carbono unido con	Acero al carbono	Aluminio y sus aleaciones	Cobre y sus aleaciones
Material de aportación	Aleaciones de: Plata Oro Cobre Níquel Cobre-Cinc	Aleaciones de: Aluminio Silicio	Aleaciones de: Plata Oro Níquel Cobre-Cinc

TABLA 22.4: MATERIALES DE APORTACIÓN PARA EL SOLDEO FUERTE DEL ACERO AL CARBONO CON ACERO AL CARBONO O CON OTROS MATERIALES

Capítulo 23

Aceros de Baja Aleación

INDICE

23.1. Aceros al cromo-molibdeno para empleo a altas temperaturas 462

23.1.1. Procesos de soldeo y de preparación de bordes 462

23.1.2. Precalentamiento 464

23.1.3. Metales de aportación para el soldeo por arco y soldeo fuerte 464

23.1.4. Tratamiento térmico postsoldeo 466

23.2. Aceros al níquel para servicio criogénico 466

23.2.1. Procesos de soldeo 467

23.2.2. Aporte térmico 467

23.2.3. Limpieza y preparación de bordes 468

23.2.4. Soplo magnético 468

23.2.5. Precalentamiento 468

23.2.6. Temperatura entre pasadas 468

23.2.7. Elección de los metales de aportación 469

23.2.8. Tratamiento térmico posterior al soldeo 469

23.3. Aceros templados y revenidos 469

23.1. Aceros al Cromo-Molibdeno para Empleo a Altas Temperaturas

Las piezas de acero al carbono, a temperatura normal, solamente rompen cuando se les aplica una tensión superior a la tensión de rotura (ver capítulo 19). Sin embargo, cuando se someten a elevadas temperaturas (por encima de 400ºC) pierden su resistencia mecánica, por lo que si se calienta una pieza a esta temperatura, aunque se les aplique un esfuerzo de tracción inferior a su carga de rotura, empezará a alargar hasta romperse. Este fenómeno se denomina "creep" o fluencia en caliente.

Por tanto, los aceros al carbono no se pueden utilizar a temperaturas por encima de los 400ºC, a estas temperaturas se utilizan los aceros de baja aleación al cromo - molibdeno, que también se denominan aceros resistentes a la fluencia o "creep". Estos aceros contienen cromo en cantidades del 0,5% al 9% y molibdeno del 0,5% al 1%, con porcentajes de carbono del orden de 0,15% al 0,2% y pueden utilizarse a temperaturas de hasta 500-550ºC.

Los aceros al cromo-molibdeno son muy utilizados en la industria del petróleo y en las centrales térmicas o nucleares. A partir de estos materiales se construyen carcasas de intercambiadores de calor y de turbinas, haces de tubos de calderas, piezas para hornos, vasijas nucleares....

Los más utilizados son los que se indican en la tabla 23.1.

En la tabla 23.2 se indican las designaciones según la norma europea UNE-EN 10027, partes 1 y 2, de algunos de los aceros resistentes a la fluencia.

23.1.1. Procesos de soldeo y de preparación de bordes

En el soldeo de los aceros al cromo-molibdeno son aplicables los procesos por arco como: SMAW, TIG, MAG, FCAW y SAW; así como los procesos de soldeo fuerte y el soldeo por resistencia.

En general, la preparación de la unión y los parámetros de soldeo (intensidad, tensión, velocidad de alimentación del alambre y gases de protección) son similares a los de los aceros al carbono (ver capítulo 22). En cualquier caso se deben minimizar los cambios bruscos de sección y las aristas vivas, ya que se produce una concentración de tensiones que disminuirá la resistencia de la unión. Se prefieren las uniones a tope frente a las uniones en ángulo.

Tipo de acero	Designación común	Designación ASTM	
		Chapa	Tubería
Acero con un 0,5% de molibdeno	Acero al carbono - $^1/_2$ molibdeno (C - $^1/_2$ Mo)	A204B	A325-P1
Acero con 0,5% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero $^1/_2$ cromo - $^1/_2$ molibdeno ($^1/_2$ Cr - $^1/_2$ Mo)	A387-Gr2	A335-02 A369-PF2 A426-CP2
Acero con 1% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 1 cromo - $^1/_2$ molibdeno (1 Cr - $^1/_2$ Mo)	A387-Gr12	A335-P12 A369-FP12 A426-CP12
Acero con 1,25% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 1 $^1/_4$ cromo - $^1/_2$ molibdeno (1 $^1/_4$ Cr - $^1/_2$ Mo)	A387-Gr11	A335-P11 A369-FP11 A426-CP11
Acero con 2,25% de cromo y 1% de molibdeno	Acero 2 $^1/_4$ cromo - 1 molibdeno (2 $^1/_4$ Cr - 1 Mo)	A387-Gr22	A335-P22 A369-FP22 A426-CP22
Acero con 5% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 5 cromo - $^1/_2$ molibdeno (5 Cr - $^1/_2$ Mo)	A387-Gr5	A335-P5 A369-FP5 A426-CP5
Acero con 9% de cromo y 1% de molibdeno	Acero 9 cromo - 1 molibdeno (9 Cr - 1 Mo)	A387-Gr9	A335-P9 A369-FP9 A426-CP9

TABLA 23.1: ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA CON SU DESIGNACIÓN ASTM

	Designación simbólica UNE-EN 10027-1	Designación numérica UNE-EN 10027-2
C - $^1/_2$ % Mo	16 Mo 3	1,5415
1 % Cr - $^1/_2$ % Mo	13 Cr Mo-4-5	1,7335
2 $^1/_4$ % Cr - 1% Mo	10 Cr Mo-9-10	1,7380
5% Cr - $^1/_2$% Mo	11 Cr Mo-9-10	1,7383

TABLA 23.2: ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA DE ACUERDO CON UNE-EN 10027

23.1.2. Precalentamiento

En el soldeo de estos aceros es indispensable realizar un precalentamiento, a temperaturas tanto mayores cuanto mayor sea el contenido de elementos de aleación, mayor sea el espesor de la pieza y mayor sea la cantidad de hidrógeno que se pueda introducir en la soldadura; de esta forma la temperatura de precalentamiento será mayor cuando se realice el soldeo con electrodos revestidos que con TIG. El precalentamiento deber mantenerse a lo largo del tiempo que dura la operación de soldeo por lo que **la temperatura entre pasadas no debe ser nunca inferior a la de precalentamiento.**

En la tabla 23.3 se indican temperaturas de precalentamiento recomendadas.

Tipo de acero	Temperatura de precalentamiento (° C)
C - $^1/_2$ Mo $^1/_2$ Cr - $^1/_2$ Mo 1 Cr - $^1/_2$ Mo 1 $^1/_4$ Cr - 1 Mo	100 - 150
2 $^1/_4$ Cr - 1 Mo	200 - 300
5 Cr - 1 Mo 9 Cr - 1 Mo	250 - 300

TABLA 23.3: TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO RECOMENDADAS PARA ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA

23.1.3. Metales de aportación para el soldeo por arco y soldeo fuerte

Soldeo por arco

Se utilizarán varillas, electrodos y alambres de composición química similar a la del material base y características mecánicas similares, con tensiones de rotura generalmente iguales a la del material base (ver tabla 23.4).

Los electrodos revestidos suelen ser de tipo básico, por lo que es necesario extremar las precauciones en el secado y conservación de los electrodos. El almacén deberá tener unas condiciones de humedad y temperaturas determinadas, la humedad deberá ser inferior al 40% y la temperatura superior a 15°C. Si los requisitos de humedad no se pueden obtener se deberán almacenar a una temperatura superior en 10°C a la ambiente y una humedad inferior al 60%. El

secado se realizará a las temperaturas indicadas por el fabricante que suelen ser de 400 a 450ºC durante una hora (no se deberá sobrepasar el tiempo), después se llevarán a hornos de mantenimiento a 100-150ºC y luego se conservarán, en estufas portátiles próximas al puesto de trabajo, generalmente a unos 60ºC. Las normas europeas donde se clasifican estos consumibles son UNE-EN ISO 3580 para electrodos revestidos, EN 12070 para alambres y varillas y EN 12071 para alambres tubulares.

Metal base	Composición del metal de aportación	Ejemplos. Designación AWS			
		SMAW AWS A5.5	TIG MIG/MAG[1] AWS A5.28	FCAW[2] AWS A5.29	SAW AWS A5.23
C-$^1/_2$ Mo	C-$^1/_2$ Mo	E70XX-A1	ER70S-A1	A70X-A1	F7XX-EXX-A1
$^1/_2$ Cr-$^1/_2$ Mo					F8XX-EXXX-B2
1 Cr-$^1/_2$ Mo	1 $^1/_4$% Cr -	E80XX-B2	ER80S-B2	E80XTX-B2	F8XX-EXXX-
1 $^1/_4$-$^1/_2$ Mo	$^1/_2$% Mo	E80XX-2L	ER80S-B2L	38XTX-B2X	B2H
2 $^1/_4$ Cr-1Mo	2 $^1/_4$% Cr-1% Mo	E90XX-B3 E90XX-B3L	ER90S-B3 ER90S-B3L	E9XTX-B3 E9XTX-B3X	F9XX-EXXX-B3 F9XX-EXXX-B4
5 Cr-1Mo	5% Cr-1%Mo	E502-XX[3]	ER502[4]	E502T-1[5] E502T-2	F9XX-EXXX-B6 F9XX-EXXX-B6H
9 Cr-1Mo	9% Cr-1%Mo	E505-XX[3]	ER505	E505T-1[5] E505T-2	
Acero al Cr-Mo soldado a acero inoxidable	Ni-Cr-Fe (base níquel)	ENiCrFe-2 ENiCrFe-3 (AWS A5.11)	ENiCr-3 (AWS A5.14)		

(1) Como gas de protección para MAG se utiliza argón + 1-5% oxígeno
(2) Como gas de protección CO_2 ó argón + 2% oxígeno
(3) Especificación AWS A5.4
(4) Especificación AWS A5.9
(5) Especificación AWS A5.22

TABLA 23.4: METALES DE APORTACIÓN PARA LAS ALEACIONES CR-MO

Cuando se utilice el proceso TIG, se deberá emplear siempre material de aportación.

Cuando se sueldan aceros inoxidables austeníticos se utilizan metales de aportación de acero inoxidable, en este caso no será necesario (ni tampoco recomendable) el empleo de tratamiento térmico posterior al soldeo. No se recomienda el empleo de este tipo de aportaciones cuando el conjunto soldado vaya

a sufrir cambios bruscos y continuos de temperatura durante su utilización, ya que los aceros inoxidables se dilatan más que los aceros al carbono y se producían tensiones internas en el material. También se pueden utilizar aleaciones de níquel, en este caso sí se pueden realizar tratamientos térmicos.

Soldeo fuerte

En el soldeo fuerte se utilizan los mismos metales de aportación que con los aceros al carbono (ver capítulo 22).

23.1.4. Tratamiento térmico postsoldeo

Aunque a veces se utilizan las piezas de este tipo de aceros sin realizar ningún tratamiento después del soldeo, lo normal es realizar un tratamiento para aliviar tensiones y conseguir las características mecánicas deseadas. Los tratamientos pueden consistir en calentamientos del orden de 600-700°C, mantenimientos a esa temperatura y enfriamientos lentos. Las piezas se mantendrán a la temperatura de precalentamiento hasta que se realice el tratamiento térmico postsoldeo.

23.2. Aceros al Níquel para Servicio Criogénico

Se entiende por servicio criogénico, o a bajas temperaturas, aquél que tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 0°C y -273°C. Estas temperaturas suelen ser necesarias para los procesos de fabricación, transporte y almacenamiento de gases licuados. Cuando se licúa un gas (oxígeno, gases combustibles, nitrógeno, gases inertes...) se reduce considerablemente su volumen por lo que el espacio para el almacenamiento y transporte será mucho menor, consiguiéndose considerables ventajas económicas

En el capítulo 19 se comentó que la resiliencia, o resistencia al impacto, y la tenacidad de los aceros al carbono era muy reducida a bajas temperaturas, por lo que será necesario emplear otro tipo de aceros para evitar catástrofes por rotura frágil cuando se empleen temperaturas bajas. Estos aceros son los aceros al níquel (con contenidos del 3,5 al 9% de níquel) para servicio criogénico, también se emplean aceros inoxidables austeníticos (se explicarán en el capítulo 25). En los aceros criogénicos, al aumentar el contenido en níquel aumenta la tenacidad y se pueden emplear a menor temperatura.

Las temperaturas mínimas aproximadas de utilización en aplicaciones a baja temperatura son las que se indican en la tabla 23.5:

Tipo de acero	Temperatura mínima de utilización
Aceros al carbono	De 20° C a 0° C
Aceros al C-Mn microaleados[1]	-45° C
Aceros al 3,5% de níquel	-100° C
Aceros al 5% de níquel	-140° C
Aceros al 9% de níquel	-200 C
Aceros inoxidables austeníticos	-250° C

(1) Los aceros al carbono microaleados, o de grano fino, son un tipo de aceros que contienen elementos de aleación en muy pequeñas proporciones, pero que tienen mejores propiedades mecánicas que los aceros al carbono normales.

TABLA 23.5: TEMPERATURAS MÍNIMAS DE UTILIZACIÓN DE ALGUNOS ACEROS

Los aceros al níquel, por su excepcional comportamiento a bajas temperaturas, se emplean, por tanto, en la construcción de instalaciones industriales, tanques, cisternas y buques para la obtención, almacenamiento y transporte de gases licuados.

23.2.1. Procesos de soldeo

Los procesos habituales que se utilizan para el soldeo de los aceros al níquel son:

- Electrodos revestidos (SMAW).
- TIG.
- MIG utilizando como gas de protección argón o mezclas de helio-argón.
- Alambre tubular.
- Arco sumergido.

23.2.2. Aporte térmico

Para conseguir soldaduras sanas y con buena tenacidad, es imprescindible reducir el aporte térmico por lo que se preferirán grandes velocidades de soldeo, cordones rectos frente a cordones con oscilación y bajas intensidades y tensiones de soldeo. Además, se evitará el empleo de electrodos de gran diámetro y se limitará la temperatura entre pasadas.

23.2.3. Limpieza y preparación de bordes

Es **fundamental la limpieza** de este tipo de aceros para conseguir buenas propiedades en el metal de aportación y en la ZAT, por lo que los materiales base se limpiarán adecuadamente por lo menos 25 mm a ambos lados de la unión.

Cuando se hayan utilizado procesos de corte térmico se amolarán las superficies de corte para eliminar los óxidos que quedan en las superficies.

Los diseños de las uniones serán similares a los utilizados para el soldeo de aceros al carbono (capítulo 22).

23.2.4. Soplo magnético

Estos aceros son especialmente propensos al soplo magnético (ver capítulo 3), por lo que cuando se presente se realizará el soldeo en corriente alterna y se utilizarán las técnicas explicadas en el capítulo 3 para aminorar la desviación del arco.

23.2.5. Precalentamiento

Al hablar del precalentamiento hay que distinguir claramente entre los aceros al 3,5% de níquel y los aceros al 5 y 9% de níquel, pues aunque debido al níquel todos deberían presentar problemas de endurecimiento de la zona afectada térmicamente (ZAT), los últimos, al tener menos carbono, se puede afirmar que presentan una aceptable soldabilidad y no requieren precalentamiento, salvo que se suelden espesores gruesos.

Aunque la temperatura de precalentamiento seleccionada depende de la composición química y proceso de soldeo, se puede indicar como regla general que debe estar compredida entre 80° C y 250° C. En los aceros al 5% Ni y 9% Ni, aunque no es necesario el precalentamiento, se considera como buena práctica calentar de 90 a 120° C para tener la seguridad de eliminar la posible humedad ambiental depositada.

23.2.6. Temperatura entre pasadas

Se recomienda que la temperatura entre pasadas se mantenga inferior a 250° C para los aceros al 3,5% Ni, e inferior a 200° C para los aceros al 9% Ni.

23.2.7. Elección de los metales de aportación

A la hora de elegir el material de aportación para la soldadura de los aceros al níquel existen tres alternativas:

- Aceros de composición similar al metal base.
- Aceros inoxidables austeníticos.
- Aleaciones altas en níquel (aleaciones base níquel)

23.2.8. Tratamiento térmico posterior al soldeo

Normalmente no es necesario realizar tratamientos térmicos de relajación de tensiones, sin embargo en muchas ocasiones se realizan.

23.3. Aceros Templados y Revenidos

Los aceros templados y revenidos suelen ser aceros de baja aleación a los que se les aplica un tratamiento de temple, para aumentar su resistencia mecánica, y un revenido posterior, para disminuir los efectos negativos del temple. Estos aceros también se denominan aceros "bonificados". Su resistencia mecánica es elevada, normalmente con un límite elástico de 35 a 150 Kg/mm^2, es decir aproximadamente de 350 a 1500 N/mm^2. El contenido en carbono suele estar limitado a 0,25%C, para que tengan buena soldabilidad, aunque también pueden tener mayores cantidades.

El soldeo se debe realizar con mayor cuidado que en los aceros al carbono normales y, en todo momento, se seguirá lo indicado en las órdenes de trabajo o en los procedimientos de soldeo, ya que sólo de esta forma se evitará la formación de grietas. En general, se deberá tener presente lo siguiente:

- Diseño de la unión: Se utilizan más a menudo los diseños en V o en V doble y los diseños en U simple, puesto que de esta forma las tensiones internas no serán muy elevadas.
- Si se utiliza el oxicorte para preparar las piezas deberán ser precalentadas, a unos 100º C los 50 mm más próximos a la zona de corte, mientras se lleva a cabo esta operación, posteriormente se eliminará una capa de 1 a 3 mm mediante amolado.
- Procesos de soldeo: Normalmente se utilizan el de electrodos revestidos, TIG, MIG/MAG, FCAW y arco sumergido. Sin embargo, se preferirán los

procesos de soldeo que disminuyen el nivel de hidrógeno introducido en la soldadura y el aporte térmico, como son los proceso TIG y MIG/MAG.

- Los electrodos básicos y los fundentes para soldeo por arco sumergido se secarán siguiendo las recomendaciones del fabricante. Como ocurre en el soldeo de cualquier acero, el hidrógeno (procedente de la humedad de los revestimientos, fundentes o del ambiente por una mala protección) es sumamente perjudicial siendo su efecto más acusado en este tipo de aceros.

- El aporte térmico estará limitado, por lo que se suelen utilizar cordones rectos en lugar de con balanceo, se evitará realizar el soldeo a velocidades de desplazamiento muy bajas e intensidades excesivas. Para el soldeo en vertical ascendente se podrán utilizar ligeras oscilaciones que no superarán el doble del diámetro del electrodo.

- A veces se emplean precalentamientos y tratamientos térmicos post-soldeo, en cualquier caso siempre se deberá considerar cada acero por separado, analizando el tratamiento que más se ajuste a su composición química. Si es necesario precalentar, también se deberá mantener esa temperatura de precalentamiento entre pasadas. En algunos casos se deberá realizar un martillado de cada cordón de soldadura con objeto de reducir las tensiones internas.

- Los materiales de aportación normalmente serán aceros de baja aleación, similares al metal base en composición y propiedades mecánicas.

- En las figuras 23.1 A y B se indican unas secuencias de soldeo que pueden ser empleadas.

- Los aceros templados y revenidos también se pueden unir mediante soldeo fuerte.

Material base Designación ASTM			Designación AWS de los materiales de aportación			
Nombre	Grado o tipo	Clase	SMAW AWS A5.5	TIG MIG/MAG[1] AWS A5.28	FCAW[2] AWS A5.29	SAW AWS A5.23
A533	B	1,2 3	E901X-D1 E1101X-M	ER90S-1 ER110S-1	E9XTX-NIX E110TX-XX	F9XX-EXXX-FX F11XX-EXXX-M2
A537		2	E801X-CX E901X-D1	ER80X-NIX	E8XTX-NIX E9XTX-NIX	F8XX-EXXX-NIX F9XX-EXXX-NIX
A543	B	1,2	E1101X-M	ER110S-1 ER120S-1	E11XTX-XX	F11XX-EXXX-FX
A678	C		E901X-D1 E1001X-D2	ER100S-1	E9XTX-NIX	F9XX-EXXX-FX F10XX-EXXX-MX

(1) Gas de protección: argón + 2% oxígeno.
(2) Cuando sea necesario el gas de protección será CO_2 o argón + CO_2

TABLA 23.6: DESIGNACIÓN DE METALES DE APORTACIÓN PARA EL SOLDEO DE ALGUNOS ACEROS TEMPLADOS Y REVENIDOS

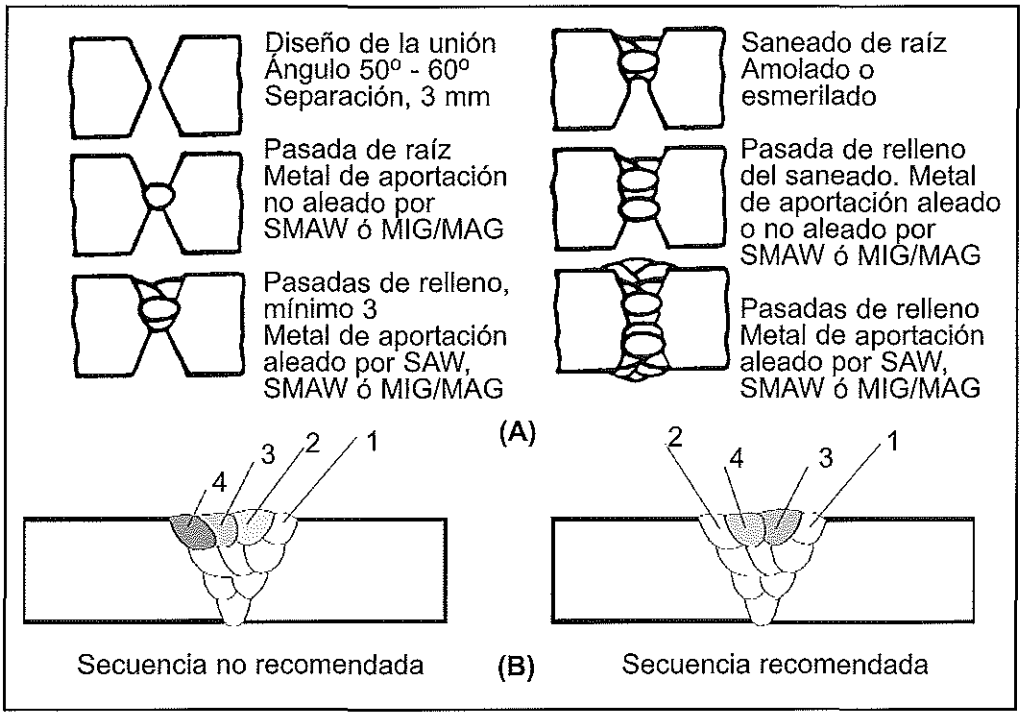


FIGURA 23.1: SECUENCIAS DE SOLDEO RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS BONIFICADOS

Capítulo 24

Aceros Recubiertos y Plaqueados

INDICE

24.1. Aceros recubiertos 474

24.1.1 Aceros recubiertos con cinc 474

24.1.2. Soldeo de piezas aluminizadas y con pinturas ricas en cinc... 477

24.1.3 Seguridad e higiene 477

24.2. Aceros plaqueados 478

24.1. Aceros Recubiertos

El acero se recubre de otros metales como cinc, aluminio o níquel y con pinturas ricas en cinc para mejorar su resistencia a la corrosión.

Cuando se sueldan por fusión los aceros recubiertos, el recubrimiento se funde o vaporiza por lo que será necesario reacondicionar las soldaduras y la ZAT para restaurar la resistencia a la corrosión.

24.1.1. Aceros recubiertos con cinc

Existen dos formas de recubrir los aceros con cinc:

- Aceros galvanizados, se recubren por inmersión de las piezas en cinc fundido; en este caso el espesor del recubrimiento suele ser de 30 a 80 micras.
- Aceros cincados, se recubren electrolíticamente; en este caso el espesor del recubrimiento no suele superar las 20 micras.

El acero galvanizado es el más utilizado. El acero cincado se suele soldar por resistencia y, normalmente, no presenta problemas de soldabilidad. En este capítulo se expondrán los problemas de soldabilidad de los aceros galvanizados.

Corte oxigás

Para realizar el corte de los aceros galvanizados se deberá emplear una velocidad de desplazamiento menor, así como inclinar el soplete hacia adelante para convertir en gas el recubrimiento a medida que se avanza por la línea de corte.

Procesos de soldeo

El acero galvanizado se puede soldar mediante los siguientes procesos:

- Soldeo por arco
  - Con electrodos revestidos
  - MAG
  - Con alambre tubular
  - Por arco sumergido
- Soldeo por resistencia
- Soldeo oxigás.
- Cobresoldeo
- Soldeo blando

No se recomienda el soldeo TIG a no ser que previamente se retire el recubrimiento de cinc, ya que los gases de cinc contaminan el electrodo de volframio obteniéndose arcos inestables y soldaduras de baja calidad.

Problemas asociados con el soldeo de los aceros galvanizados

Los problemas que se suelen presentar, durante el soldeo o en las soldaduras, son:

- *Porosidad:* Las soldaduras de los aceros galvanizados pueden contener gran cantidad de poros producidos por los vapores de cinc formados durante el soldeo. Para evitar al máximo la porosidad de las soldaduras se deberá:
  - Emplear velocidades de desplazamiento lentas que permitan la salida de los gases.
  - Retirar la capa de cinc de las piezas mediante llama o amolado; esta solución muchas veces no se puede llevar a efecto en la práctica.
  - Dejar una separación en la raíz de las piezas grande, en general no inferior a 1,5 mm, de esta forma también se permite a los gases de cinc escapar.
  - Aumentar la intensidad de soldeo.
  - En el soldeo por arco sumergido resulta beneficioso el soldeo con alambres múltiples.
- *Formación de grietas en las soldaduras:* Este es un problema muy común en las soldaduras en ángulo y está provocado por la inclusión de cinc en las soldaduras que las fragiliza. Para aminorar este problema se pueden utilizar los siguientes métodos:
  - Preparar chaflanes en V o en V doble (antes o después del galvanizado) evitando los chaflanes planos.
  - Retirar la capa de cinc de las piezas mediante llama o amolado; esta solución muchas veces no se puede llevar a efecto en la práctica.
  - Dejar una separación en la raíz de las piezas grandes, en general no inferior a 1,5 mm.
  - Emplear electrodos con contenido en silicio bajo.
- *Salpicaduras:* Se produce mayor cantidad de salpicaduras durante el soldeo de aceros galvanizados que durante el soldeo de los aceros sin recubrimiento, por lo que antes del soldeo se recomienda rociar, tanto las piezas como las toberas en el soldeo MAG con "spray" antisalpicaduras, que suelen fabricarse a base de silicona y minimizan la adherencia de las salpicaduras en las piezas y en la pistola, así como retirar con frecuencia las salpicaduras de las toberas mediante ligeros golpecitos.

Técnica de soldeo por arco

Durante el soldeo por arco de los aceros galvanizados se producen grandes turbulencias en el baño de fusión, debido a la salida de los gases de cinc formados. Se puede controlar la agitación del baño de fusión si el electrodo, o la pistola de soldeo, se mueve hacia adelante y hacia atrás repetidamente, al avanzar el electrodo unos 5 a 10 mm por delante del baño de fusión se vaporiza el recubrimiento de cinc eliminándolo de la pieza antes de que empiece su fusión. De esta manera también se minimiza la porosidad de la soldadura.

El soldeo por arco sumergido se realizará de la misma forma que con los aceros no recubiertos, pero con menor velocidad de desplazamiento.

En el soldeo por arco con electrodos revestidos se preferirán los electrodos con revestimiento de rutilo frente a los de revestimiento básico. Así electrodos del tipo E6012 y E6013 (según AWS A5.1) son los más utilizados. Cuando se emplean electrodos de gran rendimiento no se puede avanzar y retroceder continuamente con el electrodo, por lo que se empleará una técnica de soldeo normal.

En el soldeo MAG se emplean alambres con contenidos en silicio bajos como pueden ser los ER70S-3 (según AWS A5.18)

Otros procesos de soldeo

Cobresoldeo

Se pueden realizar uniones en aceros galvanizados mediante cobresoldeo con los procesos oxigás, TIG, electrodo revestido o MAG, utilizándose los aportes térmicos mínimos posibles. Los metales de aportación serán cobre - silicio, cobre - aluminio (bronce de aluminio), bronce (cobre-estaño) o latón (cobre-cinc). Si el soldeo se realiza mediante oxigás se utilizará un fundente como el bórax y la boquilla más pequeña compatible con el espesor de la pieza. Normalmente la pieza queda con buena resistencia a la corrosión.

Soldeo por resistencia

Se deberá utilizar mayores intensidades, presiones y tiempos de soldeo que en el soldeo de los aceros sin recubrir. Además los electrodos fácilmente se contaminan con el cinc por lo que es necesario reemplazarlos con mayor frecuencia.

Reacondicionamiento de la resistencia a la corrosión de las soldaduras

Una vez terminado el soldeo, las soldaduras y las zonas afectadas térmicamente (ZAT) quedan sin protección contra la corrosión, por lo que habrá que limpiarlas perfectamente mediante cepillado y posteriormente pintar la superficie con una

pintura rica en cinc. También se puede aplicar aleaciones de cinc que pueden obtenerse en forma de barras y se funden sobre la superficie limpia de la pieza con un soplete oxigás, o se frota la barra sobre la superficie aún caliente de la pieza. Otras veces se realiza una proyección térmica de cinc sobre la superficie de las piezas.

24.1.2. Soldeo de piezas aluminizadas y con pinturas ricas en cinc

Como alternativa al galvanizado a veces se emplean pinturas ricas en cinc. No se deberá realizar el soldeo por arco de estas piezas sin antes haber retirado la pintura.

Piezas aluminizadas

Se suelen utilizar recubrimientos de aluminio puro o de aluminio con silicio para recubrir piezas y mejorar su resistencia a la corrosión.

El soldeo de estas piezas se puede realizar por:

- Resistencia
- Por arco con electrodos revestidos, recomendándose en este caso el empleo de electrodos básicos tipo E7015 (según AWS A5.1)
- TIG, con o sin metal de aportación.
- MAG, en este caso se mejora el resultado si se emplea argón con adiciones de oxígeno o CO_2 como gas de protección.
- Soldeo blando, en este caso se deberá realizar una limpieza previa de la superficie para retirar el óxido de la superficie del recubrimiento de aluminio. Posteriormente se suelen emplear fundentes específicos para el soldeo de aceros recubiertos por aluminio.

24.1.3. Seguridad e higiene

Los gases de cinc son peligrosos para la salud, pueden provocar fiebre metálica, que se caracteriza por sequedad de la garganta, tos, debilidad, dolores de cabeza y vómitos; aunque estos efectos pueden aparecer después de unas horas, suelen también desaparecer con relativa rapidez puesto que el cinc lo elimina el cuerpo humano fácilmente.

Los gases de aluminio se pueden considerar como no tóxicos, aunque su inhalación se debe limitar.

En cualquier caso, se deberán utilizar sistemas de ventilación adecuados y si ésta no es suficiente se emplearán mascarillas o pistolas con extracción de gas.

24.2. Aceros Plaqueados

Los aceros plaqueados con acero inoxidable, níquel o alguna de sus aleaciones, se emplean con frecuencia en aplicaciones en las que se ha de hacer frente a condiciones corrosivas y no es posible utilizar un material a base de níquel o acero inoxidable en todo su espesor. Usualmente, la consideración principal es el menor coste, pero también puede sacarse provecho de la mejor conductividad térmica o de la superior resistencia mecánica intrínseca del acero plaqueado en comparación con el material aleado sólo. Los espesores típicos del metal que forma el plaqueado son del 10, 15 y 20% del espesor total de la chapa. En casos excepcionales el plaqueado puede representar un 50% del total, pero esto no es usual por encima de 6 mm.

Los aceros plaqueados son muy utilizados en la construcción de depósitos y en la industria química, petroquímica y en los componentes nucleares.

El plaqueado se suele realizar de una de las siguientes formas:

- Plaqueado por laminación en caliente, que consiste en la laminación conjunta del material base con una capa fina del material resistente a la corrosión.
- Plaqueado por explosión, con el que se consigue la unión por soldeo en estado sólido de los materiales.
- Plaqueado por soldeo, siendo los procesos más utilizados: arco sumergido (con electrodos en forma de alambre o en forma de banda), electrodo revestido, MIG/MAG y con alambre tubular.

Para realizar el soldeo de materiales plaqueados se debe tener en cuenta que es de vital importancia mantener la continuidad del plaqueado. Siempre que sea posible deben emplearse uniones a tope; otras formas de unión sólo deben emplearse como último recurso. En la figura 24.1 se muestran algunos ejemplos típicos de preparaciones de bordes y de secuencias de soldeo.

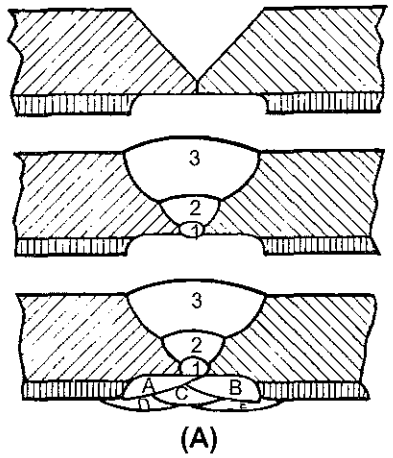
En primer lugar, debe soldarse el lado del acero de la unión teniendo cuidado de que la primera pasada sobre el acero no alcance al material de plaqueado. Si se alcanza éste, puede agrietarse el metal de soldadura que tendrá que ser eliminado antes de terminar la unión. En cualquier caso, se realizará un resando de la raíz y, posteriormente, la soldadura se completará por el otro lado de la unión.

El soldeo con electrodos revestidos es uno de los procesos más utilizados,

aunque también se emplean el arco sumergido por el lado del acero y los procesos protegidos con gas inerte para el lado del plaqueado.

Al realizar el soldeo se debe reducir al máximo la dilución del acero en el acero inoxidable o en el níquel, puesto que la resistencia a la corrosión del plaqueado quedaría reducida.

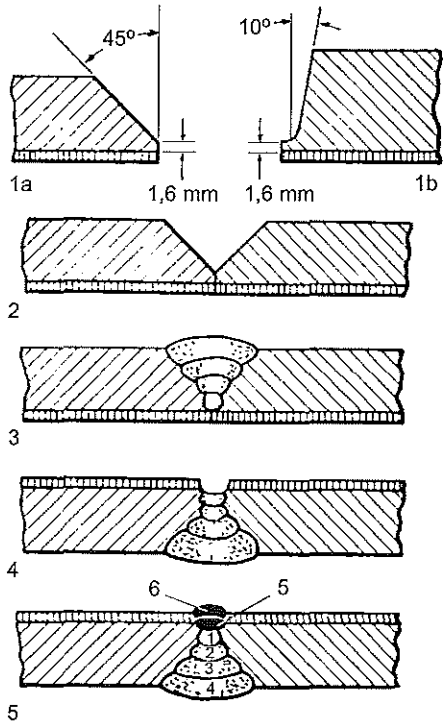
Para soldar el lado del plaqueado se deberán depositar cordones estrechos con baja aportación de calor. La primera pasada deberá realizarse utilizando una corriente de soldeo lo más baja posible.



(A)

Descripción del proceso (B)

(1a) Preparación de chapa de 5 a 16 mm de espesor. (1b) Preparación de chapa de 16 a 25 mm de espesor. El pequeño talón de acero sobre el recubrimiento protege a éste durante el soldeo desde el lado del acero.
(2) Alineación de las chapas.
(3) Soldeo del lado del acero con un electrodo de acero. Puede advertirse que el metal de aportación no ha penetrado en el recubrimiento.
(4) Lado del plaqueado preparado para el soldeo mediante amolado o cincelado. (5) Para completar la unión se han realizado dos pasadas sobre el lado plaqueado.



(B)

FIGURA 24.1: PREPARACIÓN Y SECUENCIA DE SOLDEO DE ACEROS PLAQUEADOS CON NÍQUEL O ACERO INOXIDABLE

Capítulo 25

Aceros Inoxidables

INDICE

25.1. Aceros inoxidables 483

25.1.1. Tipos de aceros inoxidables 483

25.1.2. Designación de los aceros inoxidables 485

25.1.3. Aceros inoxidables austeníticos 485

25.1.4. ¿Por qué son inoxidables? 486

25.2. Corrosión de los aceros inoxidables 487

25.3. Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos 488

25.4. Limpieza y manipulación de los aceros inoxidables 489

25.4.1. Manipulación y descontaminación 489

25.4.2. Limpieza previa al soldeo 490

25.4.3. Limpieza y decapado posterior al soldeo 491

25.5. Metales de aportación 491

25.6. Procesos de soldeo 494

25.6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido 494

25.6.2. Soldeo TIG 498
25.6.3. Soldeo MIG/MAG.....499
25.6.4. Soldeo por arco con alambre tubular 500
25.6.5. Soldeo por arco sumergido.....500
25.7. Diseño de la unión 501
25.8. Soldeo fuerte 505
25.9. Soldeo blando.....506
25.10. Corte térmico.....506

25.1. Aceros Inoxidables

25.1.1. Tipos de aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro, carbono, cromo y otros elementos, principalmente: níquel, molibdeno, titanio, niobio, silicio, manganeso.... Naturalmente, la influencia de los diversos elementos produce diversas variaciones en las características y propiedades de los aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables se clasifican según su estructura microscópica (estructura observable en microscopio), esta estructura depende de la composición química del acero y del tratamiento térmico.

Los grandes grupos en que se dividen los aceros inoxidables son:

- Martensíticos.
- Ferríticos.
- Austeníticos.
- Austeno-ferríticos o aceros inoxidables dúplex.

Los austeníticos son los más empleados.

La estructura microscópica que hemos señalado podrá ser: ferrita, austenita o martensita.

La ferrita y la austenita son constituyentes del acero, su presencia depende de los elementos de aleación; por ejemplo el níquel favorece la presencia de la austenita. La martensita es un constituyente que aparece al templar un acero.

La ferrita en general es blanda y con baja resistencia mecánica, la austenita se caracteriza por su gran tenacidad y la martensita por su dureza y resistencia mecánica, así como por su fragilidad.

Los aceros ferríticos tendrán propiedades parecidas a la ferrita, los austeníticos similares a la austenita y lo mismo ocurrirá con los martensíticos en lo que respecta a la martensita.

En la figura 25.1 se han representado las cuatro familias de aceros inoxidables descritas comparando sus contenidos en cromo y níquel típicos, en la tabla 25.1 se comparan los contenidos de los elementos más importantes.

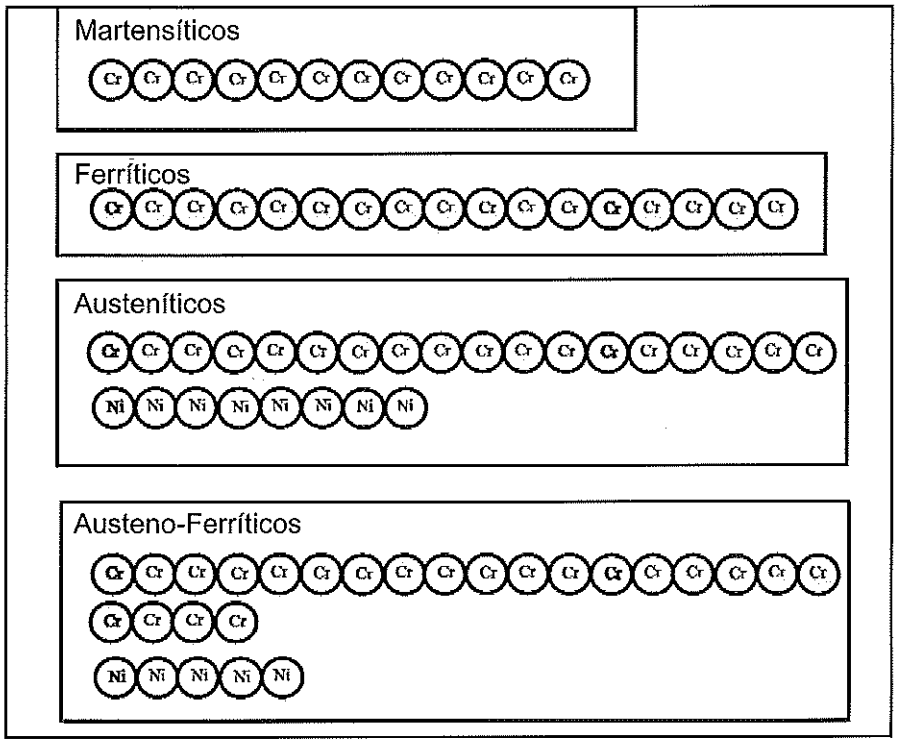


FIGURA 25.1: COMPOSICIÓN TÍPICA EN CROMO Y NÍQUEL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

Acero	%C	%Cr	%Ni	Magne-tismo	Estructura	Propiedades
Austenítico	0,03-0,2	De 17 a 27	6-20	No	Austenítica	Dúctiles, tenaces, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Son los más utilizados y conocidos.
Ferrítico	De 0,1 a 0,3	De 15 a 30	--	Si	Ferrítica	Baja resistencia mecánica. Presentan fragilidad en la zona afectada térmicamente. Buena resistencia a la corrosión, sobre todo los de alto contenido en cromo

TABLA 25.1: RESUMEN DE COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

Acero	%C	%Cr	%Ni	Magne-tismo	Estructura	Propiedades
Austeno-ferrítico	0,05-0,08	De 18 a 29	3-8	Sí	Dúplex (Austeno-ferrítica)	Excelente resistencia a la corrosión. Buenas propiedades mecánicas y buena soldabilidad
Martensítico	De 0,1 a 1,2	De 13 a 18	--	Sí	Martensítica	Resistentes y duras. Peor resistencia a la corrosión. Mala soldabilidad y tenacidad.

TABLA 25.1 (CONTINUACIÓN): RESUMEN DE COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

25.1.2. Designación de los aceros inoxidables

Los sistemas de designación permiten clasificar e identificar cada tipo de acero mediante ciertas propiedades (químicas, mecánicas, físicas).

La simbolización más extendida de los aceros inoxidables es la clasificación según el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI).

La designación AISI de los aceros inoxidables, en general, se compone de tres cifras (pudiendo en algunas ocasiones ser cuatro cifras) seguidas de una o más letras, por ejemplo: 304L.

En el Anexo A se encuentran los símbolos químicos de los elementos más comunes.

25.1.3. Aceros inoxidables austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos son aleaciones de hierro, carbono, cromo y níquel.

El **contenido de cromo** está comprendido entre el 16 y el 25%, el de carbono entre el 0,02% y el 0,2% y **el de níquel** entre el 6 y el 20%, en este tipo de acero es el níquel el que proporciona la estructura austenítica.

No son templables, presentan una **buena ductilidad** y son **fácilmente soldables**. Estas dos últimas cualidades se presentan más acusadas cuanto menor es el contenido en carbono.

Es el grupo más generalizado y el que reúne mejores condiciones de inoxidabilidad y ductilidad. Son **amagnéticos**, es decir no son atraídos por los

imanes a diferencia de los aceros inoxidables de los otros grupos y de los aceros al carbono y de baja aleación.

La resistencia, resiliencia, alargamiento y en general todas las propiedades mecánicas dependen del estado del material, es decir del tratamiento mecánico o térmico realizado, pero se pueden dar los siguientes valores como típicos en un acero inoxidable austenítico: carga de rotura de 65 kg/mm^2, alargamiento del 40%, la resiliencia y el alargamiento son elevados.

A este grupo pertenece el conocido acero 18-8 (18% de cromo, 8 % de níquel).

Los tipos más usuales son los AISI 304, 316, 308, 309 y 310.

Los **aceros de calidad "L"** se caracterizan por su bajo contenido en carbono, este tipo de acero tiene mayor resistencia a la corrosión.

Otra variante de la familia austenítica son los **aceros inoxidables estabilizados**. Este tipo de aceros poseen contenidos bajos de niobio o de titanio, del orden de 0,8%. Con estas adiciones se evita o disminuye la corrosión intergranular. A este tipo de aceros pertenecen los tipos AISI 321 y AISI 347.

25.1.4. ¿Por qué son inoxidables?

Para que un acero sea inoxidable debe tener un contenido en cromo mínimo del 12%.

La formación en la superficie del metal de una capa de óxido de cromo es lo que hace que el acero sea inoxidable, esta película o capa se denomina capa pasivante. Es una capa de óxido que no se desprende y protege al acero de la oxidación. Este sistema de protección es parecido al que se utiliza al pintar las superficies, o recubrirlas con cinc o níquel, la diferencia es que en los inoxidables esta capa pasivante la genera la propia aleación.

¿Qué sucede cuando esta película se rompe?

El solo contacto de la aleación con el ambiente hace crecer de nuevo la película pasivante y el material volverá a tener la misma resistencia a la corrosión que antes de romperse la película. Podríamos decir que tienen la propiedad de reparación automática.

Conocida ya la causa de la inoxidabilidad de estos aceros, se puede comprender que cuanto mayor es el contenido en cromo mayor es la resistencia a la corrosión.

25.2. Corrosión de los Aceros Inoxidables

Corrosión es la destrucción de un material por agentes químicos o físico-químicos. La destrucción comienza en la superficie (zona en contacto con el medio corrosivo) y se propaga hacia el interior del metal.

Al reaccionar el metal con el medio ambiente se crean capas de óxido, esta capa puede ser continua y protectora como la que vemos en la figura 25.2 A y es la que tiene el acero inoxidable, o el aluminio, y que produce esa protección a este tipo de metales. La capa de óxido protectora puede romperse en contacto con ciertos productos y formarse picaduras como vemos en la figura 25.2 B. Las picaduras se inician, sobre todo, en puntos de discontinuidad de las capas de óxido, imperfecciones o daños sufridos en la película y en zonas donde se acumula suciedad. Son provocadas por determinados agentes como el agua de mar o cualquier disolución con alto contenido en cloro. Para evitar este tipo de corrosión se debe hacer una buena selección del material y darle un mantenimiento de limpieza en servicio. Los aceros austeníticos con molibdeno (tipo AISI 316) manifiestan buena resistencia a la corrosión por picaduras.

Otro tipo de metales, como el acero al carbono de construcción, cuando se oxida genera una capa no protectora pues se desprende con facilidad, esta capa no se adhiere, figura 25.2 D, y se rompe con facilidad 25.2 C. Si un metal como el inoxidable está sometido a tensiones pueden crearse grietas como las de la figura 25.2 E y producirse corrosión bajo tensión.

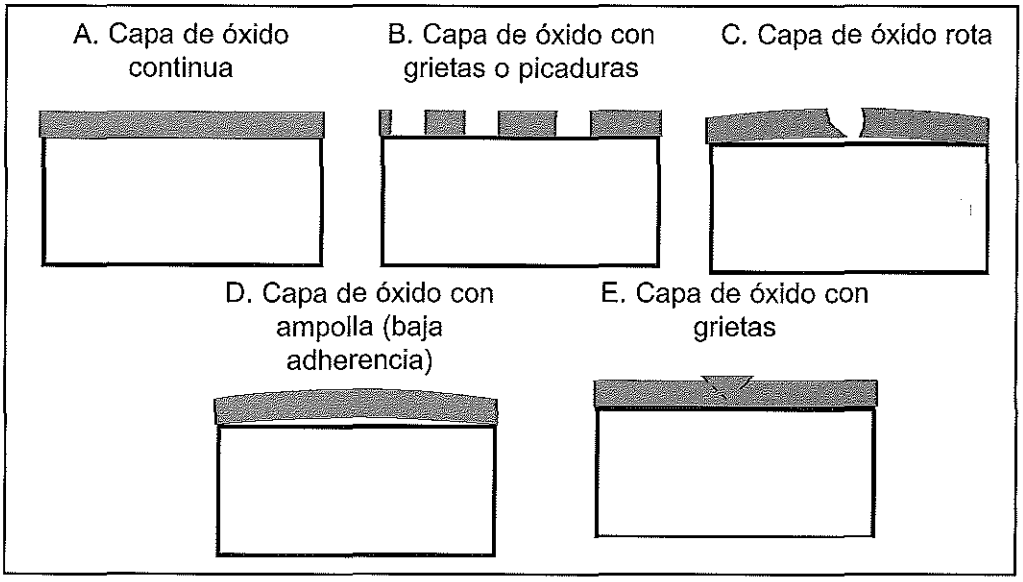

A. Capa de óxido continua
B. Capa de óxido con grietas o picaduras
C. Capa de óxido rota
D. Capa de óxido con ampolla (baja adherencia)
E. Capa de óxido con grietas

FIGURA 25.2: CAPAS DE ÓXIDO

Se advierte que los tipos de corrosión más peligrosos son los localizados.

En numerosos casos este deterioro puede producir la rápida **inutilización** de un determinado material en servicio, o producir la **rotura catastrófica** del mismo.

25.3. Soldabilidad de los Aceros Inoxidables Austeníticos

La soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos en general es buena. Ahora bien, para realizar correctamente el soldeo debe tenerse en cuenta la influencia de lo siguiente:

- Propiedades físicas.
- Contenido en ferrita en el metal de soldadura.
- Precalentamiento y tratamiento térmico del conjunto soldado.
- Elección del material de aporte y del proceso de soldeo.

Propiedades físicas

Cuando se sueldan aceros austeníticos es muy importante tener en cuenta sus particulares propiedades físicas. **Los aceros inoxidables austeníticos tiene un coeficiente de dilatación aproximadamente un 50% más elevado que los aceros al carbono, mientras que la conductividad térmica es aproximadamente un 40% inferior.** La contracción de las uniones soldadas será, pues, considerablemente mayor y el soldeo deberá realizarse prestando una atención especial al riesgo de posibles deformaciones del conjunto soldado.

Para amortiguar las tensiones producidas por estas dilataciones es preciso tomar las precauciones indicadas en el capítulo 21, como son reducir la aportación de calor, distribuir el calor de forma simétrica, disminuir la cantidad de metal aportado y no embridar en exceso las piezas.

Por otra parte, debido a la baja conductividad térmica de estos aceros, la ZAT será **más estrecha** que la resultante en el soldeo de otros tipos de aceros.

Precalentamiento y tratamiento térmico de los conjuntos soldados

Se puede afirmar que ninguna operación de soldeo de los aceros inoxidables austeníticos exige un precalentamiento del material, ni el mantenimiento de la temperatura entre pasadas.

Tras el soldeo, en la mayoría de los casos, tampoco es necesario realizar ningún

tratamiento térmico del conjunto soldado. Se efectúa únicamente cuando es exigible un distensionado del material, ya sea por razones mecánicas al tratarse, por ejemplo, de espesores muy gruesos, ya sea por razones químicas al tener que trabajar el material en presencia de un medio en el que exista riesgo de corrosión bajo tensiones.

El tratamiento térmico ideal de distensionado de los aceros inoxidables austeníticos es el de disolución de carburos a 1000–1100º C, seguido de enfriamiento rápido en agua. Ahora bien, en la mayoría de los casos este tratamiento es imposible de realizar por **razones prácticas**.

En los casos en que no sea posible y se requiera un **distensionado**, éste se efectúa a 200–400 °C, eligiendo siempre una temperatura y una duración adecuadas para que no se originen efectos secundarios **nocivos**, como precipitación de carburos.

25.4. Limpieza y Manipulación de los Aceros Inoxidables

25.4.1. Manipulación y descontaminación

Como se ha explicado, la inoxidabilidad del acero inoxidable se debe a una capa de óxido de cromo que pasiva el acero impidiendo su oxidación.

Mientras la película de óxido protector permanezca intacta, la inoxidabilidad de los aceros inoxidables será buena; sin embargo, si se daña esta película puede provocarse una pérdida de inoxidabilidad o una corrosión por picaduras. Una de las causas que puede provocar la corrosión posterior es su incorrecta manipulación. Se debe evitar la contaminación de la superficie así como dejar marcas sobre ésta.

El acero inoxidable se contamina si se almacena junto al acero al carbono y si se manipula con útiles (muelas, limas, cizallas de corte, mandriles de doblado, cepillo...) de acero al carbono, o con los que se ha realizado operaciones en estos aceros y por tanto hayan quedado contaminados por ellos; por tanto se deben emplear útiles de acero inoxidable que se utilicen exclusivamente para acero inoxidable, sin alternar su empleo con otros aceros.

En el caso de haberse producido una contaminación de la pieza de acero inoxidable se procederá a descontaminarlo, pero antes es necesario cerciorarse de si efectivamente la pieza está contaminada, para ello se puede introducir en agua que producirá, si se repite por lo menos durante 24 horas, manchas de orín superficiales; también se pueden utilizar reactivos adecuados.

La descontaminación consiste en sumergir o tratar la superficie de la pieza con las soluciones indicadas en la tabla 25.2, o con pastas pasivantes para disolver los óxidos de hierro, o de otros metales, y reconstituir la capa pasivante del acero inoxidable; posteriormente se lava cuidadosamente la pieza.

Composición de la disolución % en volumen	Temperatura °C	Duración del baño min
Ácido nítrico (20-40%)	50 - 70 20-35	20 - 30 60
Ácido nítrico (20-40%) + bicromato sódico (2-4% en peso)	40 - 55 20 - 35	20 - 30 60

TABLA 25.2: DISOLUCIONES PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES

25.4.2. Limpieza previa al soldeo

Es necesario realizar una buena limpieza de las piezas antes de soldarlas para obtener uniones sanas. Se realizará la limpieza sobre las caras de los biseles de la unión y por lo menos unos 15 mm alrededor de cada uno de los biseles.

La limpieza consiste en la eliminación de cualquier resto de suciedad, grasa, fluido de corte, imprimaciones y aceite mediante los disolventes adecuados, que no contengan cloro, o mediante vapor de agua. También se puede limpiar con agua jabonosa y estropajo, que será de níquel o acero inoxidable y nunca de lana de acero.

En el caso de existencia de ligeros óxidos se retirarán mediante decapados mecánicos o químicos tales como:

- Empleo de cepillos de púas de acero inoxidable que no hayan sido utilizados para otros fines.
- Granallado con arena limpia.
- Mecanizado con herramientas adecuadas y fluido de corte exento de productos clorados.
- Decapado con ácido nítrico al 10 ó 20%, seguido de limpieza con agua.

25.4.3. Limpieza y decapado posterior al soldeo

Tras el soldeo se debe realizar también una limpieza adecuada para retirar cualquier escoria. Cualquier mancha o decoloración en la soldadura, o en la zona afectada térmicamente, debe ser retirada mediante cepillado o pulido mecánico, requiriendo a veces un decapado seguido de pasivado para restaurar la capa pasivante del acero inoxidable.

El decapado y pasivado se realiza por inmersión o rociado con alguna de las disoluciones ácidas indicadas en la tabla 25.3, después la pieza se enfría rápidamente en agua y este choque térmico permite separar los últimos residuos de cascarilla de la superficie y eliminar los restos de ácido.

Composición de la disolución % en volumen	Temperatura °C	Duración del baño (1) min
Ácido nítrico (15-25%) + Ácido fluorhídrico (1-4%)	20 - 60	5 - 30
Ácido nítrico (6-15%) + Ácido fluorhídrico (0,5-1,5%)	20 - 60	10
Inmersión en ácido sulfúrico (8-11%)	65 - 85	5 - 30
Enjuague en agua		
Inmersión en solución 6-15% de ácido nítrico + 0,5-15% ácido fluorhídrico	20 - 60	10

(1) Se debe adoptar el tiempo mínimo de inmersión en el baño para evitar un exceso de decapado. Se pueden realizar ensayos para establecer los tiempos exactos de inmersión.

TABLA 25.3: SOLUCIONES PARA EL DECAPADO DE ACEROS INOXIDABLES

25.5. Metales de Aportación

En la tabla 25.4 se indican los metales de aportación recomendados para cada tipo de acero inoxidable. Se ha utilizado la designación AWS por ser la más utilizada. Consiste en los mismos números de designación del material base (según AISI), la letra E indica electrodo, R varilla y T electrodo tubular, el significado de los últimos números se explica en la tabla 25.6.

Metal base		Metal de aportación		
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW
Austenítico	302 304	E308-XX	ER 308	E308T-X
	304 L 304 H	E308L-XX E347-XX	ER 308L ER 347	E308T-X E347T-X
	309	E309-XX	ER 309	E309T-X
	309 S	E309L-XX E309Nb-XX	ER 309L ER 309Nb	E309LT-X E309NbLT-X
	310 314	E310-XX	ER 310	E310T-X
	316	E316-XX	ER 316	E316T-X
	316 L	E316L-XX	ER 316 L	E316LT-X
	316 LN	E316L-XX E308LMo-XX	ER 316L ER 308LMo ER 316 LSi (MIG/MAG)	E316LT-X E308LMo-X
	317	E317-XX	ER317	E317T-X
	317 L	E317L-XX	ER317L	E317LT-X
	321	E308L-XX E347-XX	ER321 ER347	E308LT-X E347T-X
	347	E308L E347	ER347	E308LT-X E347T-X
	348	E347	ER347	E347T-X
Ferrítico	430, 446 ó similar	E430-XX E318-XX E310-XX E309-XX	ER 430 ER 218 ER 310 ER 309	E430T-X E318T-X E310T-X E309T-X
Martensítico	410, 420 ó similar	E410-XX E410NiMo-XX E310-XX E308-XX E309-XX	ER 410 ER 420 ER 310 ER 308 ER 309	E410T-X E410NiMoT-X E410NiTiT-X E310T-X E308T-X E309T-X

TABLA 25.4: METALES DE APORTACIÓN PARA ACEROS INOXIDABLES

Metal base		Metal de aportación		
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW
Austeno-ferrítico	UNS S31803 (acero 22% cromo)	E2209-XX	ER 2209	2205(1)
	Otros aceros 25% cromo	E2553-XX	ER 2553	

(1) Designación AVESTA

TABLA 25.4 (CONTINUACIÓN): METALES DE APORTACIÓN PARA ACEROS INOXIDABLES

Las normas AWS y las normas europeas que recogen el material de aportación para el soldeo de aceros inoxidables se indican en la tabla 25.5.

En el soldeo TIG también se utilizan insertos consumibles que están especificados en AWS A5.30; se designan con un prefijo IN seguidos de los mismos números que indican el tipo de acero inoxidable.

Al realizar las siguientes pasadas es necesario refundir el inserto consumible, para ello se intentará no utilizar un aporte elevado limitando la dilución.

Especificación AWS	Procesos de soldeo	Norma UNE-EN
A5.22	FCAW	UNE-EN ISO 12073
A5.9	MAG/MIG/TIG/SAW/PAW	UNE-EN ISO 12072
A5.4	SMAW	UNE-EN 1600

TABLA 25.5: ESPECIFICACIÓN AWS PARA MATERIALES DE APORTE DE ACERO INOXIDABLE

25.6. Procesos de Soldeo

Los aceros inoxidables pueden ser soldados por casi todos los procesos, tales como láser, haz de electrones, resistencia, plasma, arco sumergido; los procesos más usuales son: TIG, MIG/MAG, SMAW y FCAW.

Se pueden conseguir soldaduras sanas mediante arco sumergido, sin embargo existen ciertas restricciones con este proceso ya que la composición del metal de soldadura depositado es más difícil de controlar.

No se recomienda el soldeo oxiacetilénico, excepto para pequeñas reparaciones cuando sea imposible el empleo de soldeo por arco, en estos casos se recomienda el soldeo con llama neutra o débilmente reductora y el empleo de fundentes adecuados (fluoruro sódico o cálcico).

25.6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido

El soldeo con electrodo revestido es uno de los procesos más utilizados. Resulta un proceso adecuado para uniones de chapas o tubos de espesor mayor de 1 mm y en principio, no existe límite superior en cuanto al espesor, aunque para espesores muy grandes se prefieren los métodos automáticos como arco sumergido. También se puede utilizar en combinación con TIG, utilizando el soldeo TIG para realizar la raíz de la soldadura y el electrodo revestido para el relleno; este método es muy utilizado en tubería.

Metal de aportación

Como metales de aportación se utilizarán electrodos revestidos con una composición química similar a la del metal base; en la tabla 25.4 se han indicado los electrodos utilizados en cada caso.

La designación utilizada por AWS A5.4-06 consiste en:

- La letra E que indica que es un electrodo.
- 3 primeros dígitos que representan su composición química. (ocasionalmente otros dígitos para indicar composiciones específicas)
- 2 números finales que indican su aplicación en función de la posición de soldeo y del tipo de intensidad de soldeo, según la tabla 25.6.

Los electrodos tienen diámetros de 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 4,8; 5,6; 6,4 mm.

Denominación AWS	Corriente de soldeo	Posición de soldeo
EXXX-15	CCEP	Todas [1]
EXXX-16	CCEP ó CA	Todas [1]
EXXX-17	CCEP ó CA	Todas [1]
EXXX-25	CCEP	Horizontal (cornisa) y plana
EXXX-26	CCEP ó CA	Horizontal (cornisa) y plana

(1) Los electrodos de diámetro mayor de 4,8 mm no se recomiendan para el soldeo en todas las posiciones

TABLA 25.6: TIPO DE CORRIENTE DE SOLDEO EN FUNCIÓN DEL ELECTRODO

La norma europea aplicable es la UNE-EN 1600, ver figura 25.3

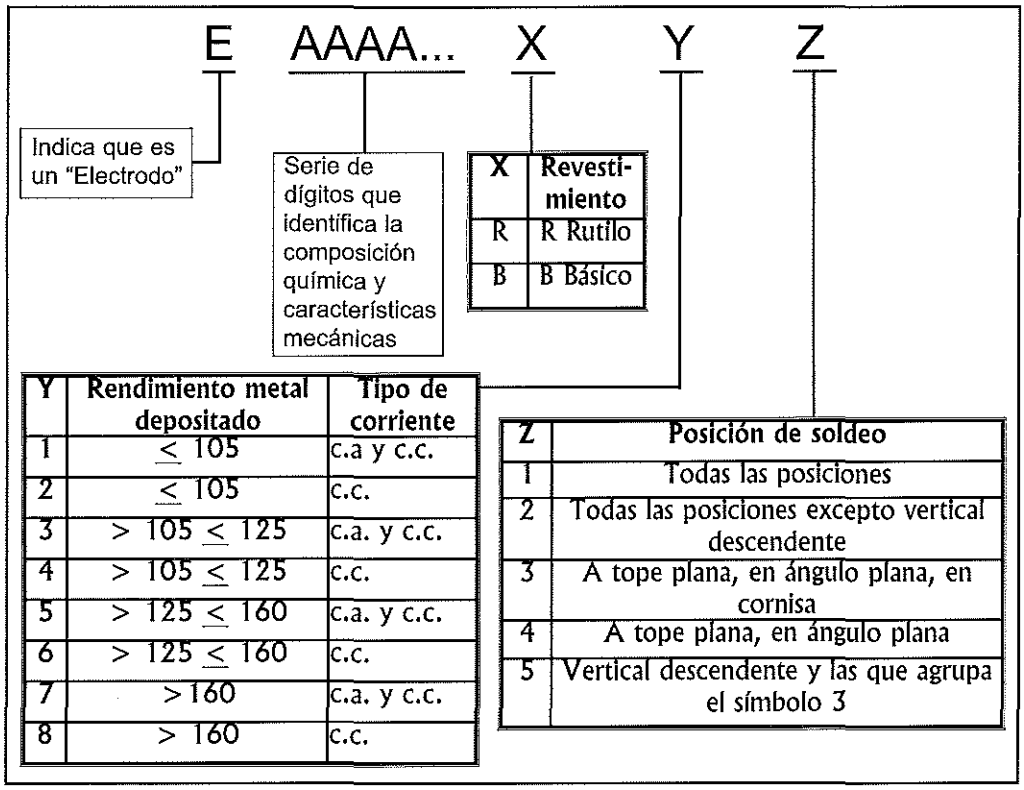

E AAAA... X Y Z
Indica que es un "Electrodo"
Serie de dígitos que identifica la composición química y características mecánicas
X Revestimiento
R R Rutilo
B B Básico
Y Rendimiento metal depositado Tipo de corriente
1 ≤ 105 c.a y c.c.
2 ≤ 105 c.c.
3 > 105 ≤ 125 c.a. y c.c.
4 > 105 ≤ 125 c.c.
5 > 125 ≤ 160 c.a. y c.c.
6 > 125 ≤ 160 c.c.
7 >160 c.a. y c.c.
8 > 160 c.c.
Z Posición de soldeo
1 Todas las posiciones
2 Todas las posiciones excepto vertical descendente
3 A tope plana, en ángulo plana, en cornisa
4 A tope plana, en ángulo plana
5 Vertical descendente y las que agrupa el símbolo 3

FIGURA 25.3: DESIGNACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA EL SOLDEO MANUAL POR ARCO DE LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR DE ACUERDO CON UNE-EN 1600:1998

Un electrodo clasificado como: EN 1600 E 19 12 2 R 34, representa:

- Un consumible de soldeo clasificado según norma europea (norma EN 1600)
- Dentro de los posibles consumibles de soldeo se trata de un electrodo revestido (E).
- El análisis del metal depositado debe mostrar una composición química dentro de los siguientes márgenes:
  - 0.08% de C máximo, 1.2% Si máximo, 2% de Mn máximo, 0.03 % P máximo, 0.025% S máximo, 17 - 20% de Cr, 10 - 13 % de Ni y 2 - 3% de Mo.
- El tipo de revestimiento del electrodo es rutilo (R).
- El electrodo puede utilizarse tanto con corriente continua, como con alterna y el rendimiento del metal depositado está dentro del margen: 105 - 125.
- Se trata de un electrodo apto para soldar en posición a tope plana y en ángulo en posición plana.

Técnica de soldeo

Las chapas deberán estar unidas inicialmente con puntos, de forma que la abertura entre las chapas permanezca uniforme a lo largo de toda su longitud; el punteado se hará con cordones cortos de 40 mm. de longitud, siguiendo una secuencia que tenga un punto de partida en el medio de la chapa y que los puntos vayan aplicándose alternativamente hacia los extremos, o bien se dispondrá un punto en cada extremo y luego en el centro de cada espacio hasta que el punteado se haya completado [figura 25.4 (A)]. La abertura tendrá una tendencia a cerrarse si la soldadura por puntos se efectúa solamente desde un lado [ver figura 25.4 (B)].

En el caso de los aceros inoxidables, sobre todo en el caso de los austeníticos, el espaciado entre los puntos deberá ser menor que en el caso de acero normal; la razón de ello es que el material inoxidable austenítico se dilata más al ser calentado. Se recomiendan los siguientes espaciados (tabla 25.7).

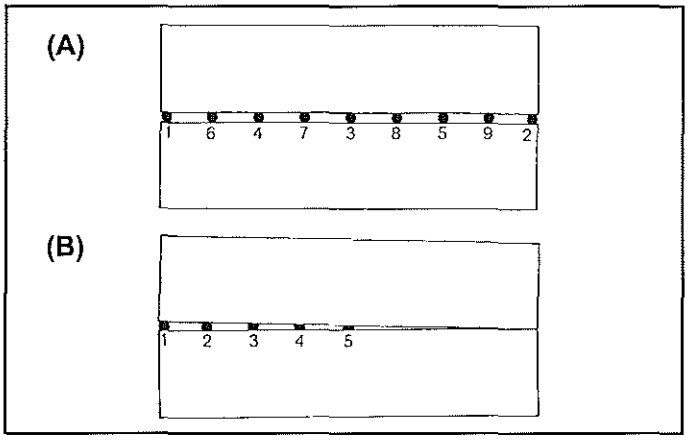


FIGURA 25.4: MÉTODO DE PUNTEADO. (A) DISTRIBUCIÓN CORRECTA DE LOS PUNTOS. (B) DISTRIBUCIÓN INCORRECTA, LA CHAPA SE CIERRA

Espesor chapa (mm)	1 - 1,5	2 - 3	4 - 6	Mayor de 6
Espaciado entre puntos de soldadura (mm)	30 - 60	70 - 100	120 - 160	150 - 200

TABLA 25.7: DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE SOLDADURA

Se logrará mejor penetración si los puntos de soldadura se esmerilan antes de proceder al soldeo. En el caso de chapas de pequeño espesor los puntos de soldadura deberán ser martillados. De esta forma se ensancha la soldadura y se reduce la concentración de tensiones. El martillado no será excesivo y no se extenderá por una superficie amplia del metal base. Se preferirá, sin embargo, la utilización de plantillas de montaje para sujetar las chapas muy delgadas en lugar del punteado de éstas.

La separación entre las chapas será de 2,5 a 3,2 mm dependiendo del tipo de electrodo que se utilice.

Se recomienda la técnica de cordones rectos mejor que la de oscilantes; la anchura del cordón no deberá ser mayor que cuatro veces el diámetro del alma del electrodo, cada cordón de soldadura tendrá un espesor inferior a 3 mm.

Será necesario realizar la soldadura utilizando una longitud de arco pequeña.

Cada uno de los cordones deben limpiarse, retirando la escoria mediante cepillado y/o amolado. Las inclusiones de escoria provocadas por realizar una limpieza incorrecta no sólo representan una discontinuidad, sino que también favorecen la corrosión.

Cuando no se pueda soldar por las dos caras no se recomienda el empleo del electrodo revestido para la pasada de raíz, pudiendo utilizarse en su lugar el soldeo TIG, soldeo por plasma o soldeo MIG/MAG.

Para evitar las mordeduras, sobre todo en las posiciones vertical y bajo techo, se deberá evitar la oscilación excesiva del electrodo, intensidades muy altas y longitudes de arco muy grandes.

Los electrodos deben conservarse en buen estado y secarse antes del soldeo para evitar la porosidad causada por la humedad.

25.6.2. Soldeo TIG

Las aplicaciones más comunes del soldeo TIG son el soldeo de chapas finas, para el soldeo de las primeras pasadas cuando se realiza el soldeo por una sola cara y en el soldeo de tuberías.

Se prefiere utilizar las uniones biseladas antes que las uniones con bordes rectos.

El soldeo se realizará con corriente continua electrodo en el negativo, por tanto se suele utilizar electrodo de volframio con óxido de torio.

En general se utilizará argón para el soldeo TIG, añadiendo ciertas cantidades de helio cuando las uniones se realizan entre piezas de mayor espesor, en el caso de los aceros inoxidables dúplex se pueden utilizar adiciones de nitrógeno que mejoran las características de la soldadura.

Se utiliza gas de respaldo, sobre todo en el soldeo de tuberías. En el caso del inoxidable austenítico se pueden utilizar como gas de respaldo argón o argón+hidrógeno (5% de hidrógeno) y en el caso del inoxidable dúplex se utilizará argón o argón+nitrógeno. También pueden utilizar nitrógeno y nitrógeno + 4% hidrógeno.

Para conseguir una buena fusión de la raíz se pueden utilizar insertos consumibles o chaflanes ensanchados.

Si se utiliza TIG pulsado se reduce el aporte térmico y las deformaciones y se facilita el soldeo en posiciones difíciles. En este caso la corriente de pico será un 40 a 60% mayor que la corriente utilizada con TIG normal y la corriente de fondo será un 25% más baja que la corriente de pico.

25.6.3. Soldeo MIG/MAG

El soldeo MIG/MAG se suele utilizar para el soldeo de piezas de mayor espesor que las soldadas con TIG.

Se suele utilizar como gas de protección argón y se puede utilizar otras mezclas, como argón-oxígeno, argón-CO_2, argón-helio-dióxido de carbono (CO_2). La mezcla argón-oxígeno mejora el mojado y aspecto de la soldadura produciéndose gotas de menor tamaño, pero puede dar lugar a una cierta oxidación del baño. No se utilizarán mezclas argón-CO_2 cuando se suelden aceros inoxidables grado L (Bajo carbono) pues puede aumentar el contenido de carbono del metal de soldadura, produciéndose una disminución de la resistencia a la corrosión.

Como gas de respaldo se suele utilizar argón o argón-5% hidrógeno.

El espesor máximo de las pasadas no debe ser mayor de 3,2 mm y se debe controlar el balanceo, la energía de aporte y la temperatura entre pasadas.

Los parámetros recomendados para el soldeo MIG/MAG dependen del tipo de transferencia, en la tabla 25.8 se indican los recomendados para el soldeo con transferencia spray y en la tabla 25.9 con transferencia por cortocircuito.

Se debe recordar que el tubo-guía del alambre no puede ser de acero al carbono, utilizándose de otros materiales como teflón.

Espesor material mm	Tipo de unión	Diámetro del alambre mm	Intensidad(1)		Velocidad del alambre mm/s	Gas de protección	Caudal de gas l/min
			A	V			
3,2	A tope con respaldo	1,6	225	24	55	Ar 98%, $O_2$2%	14
6,4(2)	A tope. Bisel en V, ángulo 60°	1,6	275	26	74	Ar 98%, $O_2$2%	16
9,5(2)	A tope. Bisel en V, ángulo 60°	1,6	300	28	102	Ar 98%, $O_2$2%	16

(1) Corriente continua electrodo positivo. (2) Se requieren dos pasadas

TABLA 25.8: VARIABLES TÍPICAS PARA EL SOLDEO MIG/MAG DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS Y DUPLEX, EMPLEANDO ARCO SPRAY EN POSICIÓN PLANA

Espesor material mm	Tipo de unión	Diámetro del alambre mm	Intensidad de soldeo*		Velocidad del alambre mm/s	Gas de protección	Caudal de gas l/min
			A	V			
1,6	A tope	0,8	85	21	78	He 90%, Ar 7,5% CO_2 2,5%	14
2,4	A tope	0,8	105	23	97	He 90%, Ar 7,5% CO_2 2,5%	14
3,2	A tope	0,8	125	24	118	He 90%, Ar 7,5% CO_2 2,5%	14

(*) Corriente continua electrodo positivo

TABLA 25.9: VARIABLES TÍPICAS PARA EL SOLDEO MIG/MAG DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS Y DUPLEX, EMPLEANDO CORTOCIRCUITOS

25.6.4. Soldeo por arco con alambre tubular

Se puede utilizar gases de protección como argón, CO_2 o mezclas de ambos. La composición química de cada tipo de alambre permite obtener la cantidad de ferrita adecuada en cada caso. Se debe evitar realizar el soldeo con bajas intensidades y grandes longitudes de arco, pues pueden producir porosidad.

En la tabla 25.10 se indican algunas variables para el soldeo FCAW.

Diámetro del alambre	Intensidad A	Tensión V	Caudal de gas l/min[1]
0,9	70 - 190	22 - 38	20 - 25
1,2	150 - 250	22 - 38	20 - 25
1,6	200 - 300	25 - 40	20 - 25

(1) 75% Argón + 25% CO_2

TABLA 25.10: VARIABLES PARA EL SOLDEO FCAW

25.6.5. Soldeo por arco sumergido

El soldeo por arco sumergido se utiliza habitualmente para realizar uniones entre aceros inoxidables austeníticos y dúplex, o para realizar un plaqueado de un acero al carbono con acero inoxidable.

En el soldeo de los aceros dúplex se utilizarán intensidades y tensiones un poco más altas que con los aceros austeníticos.

El fundente deberá ser básico, de alta basicidad o neutro y no se deberán utilizar los fundentes utilizados en el soldeo de aceros al carbono. Los fundentes aglomerados absorben humedad y deberán secarse antes de su utilización. Se debe limitar la dilución del metal base al 40%.

Se podrá realizar el soldeo con corriente continua o con corriente alterna.

Se recomiendan las siguientes medidas:

- Emplear una geometría correcta de la unión, la anchura de la soldadura (a) deberá ser mayor que su profundidad (p): a > p
- Se debe elegir una combinación de fundente y alambre de forma que se asegure un contenido de ferrita no inferior al 5% en el caso de inoxidable austenítico.
- En el soldeo del inoxidable dúplex se reducirá la dilución para evitar que el metal de soldadura tenga un exceso de ferrita.
- Se evitarán las soldaduras con intensidades excesivas y se dejará enfriar la soldadura entre pasadas.
- Los cordones de raíz (2 ó 3 capas) se realizarán con otro proceso TIG, MIG/MAG, FCAW o bien se resanará.
- Se utilizarán placas de respaldo de cobre o cerámicas

25.7. Diseño de la Unión

Como los aceros inoxidables se utilizan en ambientes corrosivos, se deben diseñar las uniones de forma que se eviten al máximo las discontinuidades que favorecerían la corrosión, se debe extremar el diseño de las uniones de tuberías evitando resquicios o zonas de estancamiento de fluidos corrosivos. Las uniones deben ser de penetración total y se deben evitar las raíces pronunciadas y las uniones a solape.

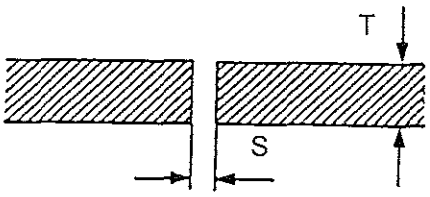
En todo caso, la geometría de la unión depende de la posición de soldeo y la accesibilidad de la unión, además del espesor y el proceso de soldeo.

En los casos de uniones en ángulo será necesario conseguir un ajuste bueno, a fin de evitar zonas que puedan ser origen de tensiones. Un buen ajuste permite ejecutar un cordón en ángulo, interesante por su penetración, continuidad y reparto de los esfuerzos.

A veces es necesario utilizar en las uniones a tope separaciones en la raíz mayores de 2,5 mm, para evitar de esta forma que se junte excesivamente la raíz durante el soldeo.

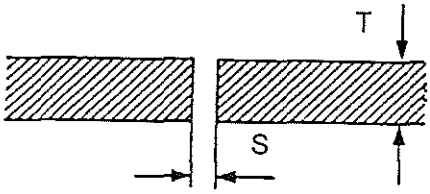
A continuación se indican algunas de las preparaciones recomendadas en función del proceso de soldeo y del espesor de la pieza (figura 25.5).

Borde recto. 1 pasada



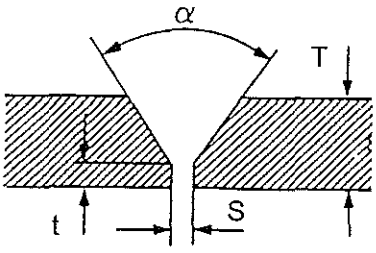
Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz S (mm)
SMAW	1 - 4	2
GTAW	1 - 4	1 - 2,5
GMAW	2 - 4	2 - 2,5

Borde recto. 2 pasadas



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz S (mm)
SMAW	3 - 6	2
GTAW	3 - 6	1 - 2
GMAW	3 - 8	1 - 2
FCAW	2 - 4	2
SAW	4 - 9	0

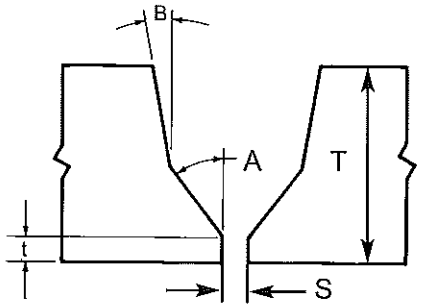
Bisel en V



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo del bisel (α)
SMAW	3 - 13	0 - 2	1,5 - 3	60°
GTAW	4 - 6	0 - 1	1,5 - 2	70°
GTAW	6 - 16	1 - 2	1 - 1,5	60°
GMAW	4 - 13	2	1,5 - 3	60°
FCAW	4 - 19	2 - 3	2	60°-70°
SAW	9 - 15	0 - 2	1,5 - 4	60°-80°

Para el soldeo en cornisa, la pieza inferior tendrá un bisel de 10°-15° y la superior de 30°-50°

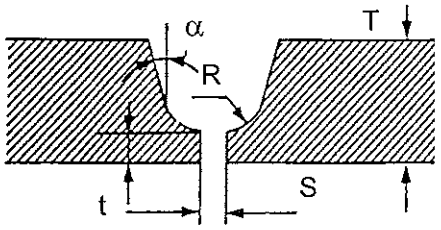
FIGURA 25.5: PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES



T > 19 mm
t = 2 mm
A = 40°
B = 10°
S = 2 mm

Preparación utilizada sobre todo en el soldeo de tubería para espesores mayores de 19 - 20 mm, utilizando los procesos SMAW y GTAW ó GMAW

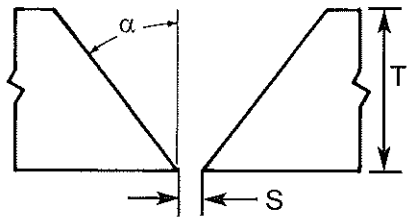
Bisel en U, R = 4 - 8 mm



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo (α)
SMAW	> 20	2	2	10°
GTAW	> 20	2	2	10°
GMAW	13 - 19	2	2 - 3	15°

Utilizado en tubería para espesores > 20 mm con procesos GTAW y SMAW. Si el soldeo se puede realizar por las dos caras se preferirán las geometrías en
X o en doble U.

En V

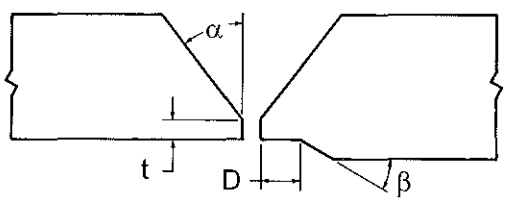


Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Ángulo (α)
SMAW	6 - 10	3	45°
	10 - 20	5	30°
	20 - 30	10	20°
GTAW	4 - 20	2	60°-70°

Utilizado para tubería con insertos consumibles y para soldeo con respaldo.

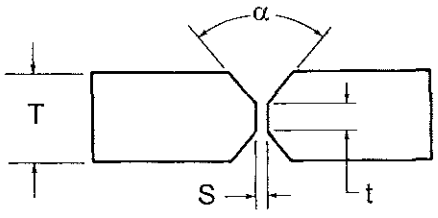
FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

Ejemplo de preparación de unión para soldeo de tuberías de diferente espesor.



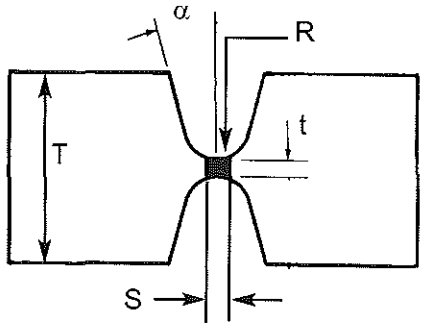
a = 40°
t = 2 mm
D = 2 veces la diferencia de espesores
β = máx. 30°

Bisel en V doble



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo del bisel (α)
SMAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°
GTAW	> 20	0 - 2	< 2	60°-90°
GMAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°
FCAW	13 - 76	3		45°
SAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°

En U doble



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo del bisel (α)
SMAW	> 32	1 - 2	2 - 3	10°-15°
GTAW	> 13	< 2	2,4	10°-15°
GTAW	> 20	0 - 2	4 - 8	10°-15°

FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

Preparación en V con chaflán ensanchado para suministrar el metal de aportación de la primera pasada; se puede utilizar en el soldeo del acero 316 LN no siendo muy recomendable para el soldeo del dúplex 2205.

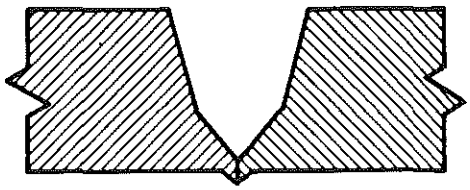


FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

25.8. Soldeo Fuerte

Existen bastantes aplicaciones en las que se utiliza el soldeo fuerte para los aceros inoxidables como proceso de unión de estos materiales. Para obtener uniones sanas con cualquiera de los procesos de soldeo fuerte, las piezas deberán estar perfectamente limpias (desengrasadas y decapadas) realizándose el soldeo justo después de su limpieza, si esto no fuera posible, las piezas se deberán guardar en bolsas de plástico selladas. Los procesos de soldeo fuerte preferidos son los que utilizan vacío o gases inertes como protección, ya que de esta forma se evita la retirada posterior del fundente cuya presencia favorecería la corrosión del acero en servicio.

Como metales de aportación se utilizan los de la tabla 25.11.

Metal de aportación para el soldeo fuerte	Temperatura de servicio (°C)
Aleaciones de plata	Hasta 370° C
Aleaciones de cobre	Hasta 425° C
Aleaciones cobre-manganeso-níquel (53Cu-37Mn-10Ni)	425° C - 540° C
Aleaciones de níquel y aleaciones de oro	Mayor de 540° C

TABLA 25.11: METALES DE APORTACIÓN EN EL SOLDEO FUERTE DE ACEROS INOXIDABLES

25.9. Soldeo Blando

La capa superficial de óxido que protege el acero inoxidable dificulta el soldeo blando y el soldeo fuerte; sin embargo, con el empleo de fundentes y técnicas adecuadas se pueden obtener soldaduras de gran calidad.

Como metales de aporte se utilizan aleaciones de cinc, con contenidos elevados de éste, en general mayores del 50%, ya que cuanto mayor sea su contenido mejor es el mojado del acero inoxidable. El metal de aportación debe elegirse de forma que sea compatible con el acero inoxidable y con el ambiente al que va a estar expuesto.

Se deberá realizar una buena limpieza de las piezas, retirando cualquier resto de grasa, suciedad y óxido; sin embargo no se deberá pulir la superficie. El soldeo blando se realizará inmediatamente después de la limpieza y, si no fuera posible, se cubrirán las piezas con estaño o con el metal de aportación que se vaya a utilizar.

Cuando el diseño de las piezas sea complicado y no se pueda comprobar visualmente si el metal de aportación ha fluido por la intercara de las piezas, se preferirá recubrirlos previamente.

El soldeo se puede realizar con cualquier método de calentamiento, sin embargo, debido a la baja conductividad térmica del acero inoxidable, el soldeo se debe realizar despacio permitiendo de esta forma que todas las partes de la unión alcancen la tempertura de soldeo. No se recomienda aumentar la temperatura de las piezas para poder soldar más deprisa, ya que el fundente perdería su actividad y no realizaría su función protectora, oxidándose tanto el metal base como el metal de aportación.

Los fundentes deben emplearse con cuidado, ya que pueden dañar la piel y los ojos. Después del soldeo se retirará completamente cualquier resto de fundente.

25.10. Corte Térmico

La capa de óxido protectora impide el oxicorte convencional de las piezas de acero inoxidable. Para oxicortar un acero inoxidable será necesario utilizar los métodos de corte con fundente o con polvo metálico, sin embargo la calidad del corte es muy baja. El método más utilizado es el corte por plasma. A veces se utiliza el corte o resanado por arco aire siendo necesario amolar las superficies de corte para eliminar la capa carburada que se obtiene tras la utilización de este proceso.

Capítulo 26

Aluminio y sus Aleaciones

INDICE

26.1. Propiedades del aluminio 509

26.2. Aleaciones de aluminio 509

26.2.1. Designación de las aleaciones de aluminio para forja 510

26.2.2. Comportamiento de las aleaciones de aluminio frente al soldeo 511

26.3. Factores influyentes en la realización de las uniones soldadas 513

26.3.1. Temperatura de fusión del aluminio 513

26.3.2. Conductividad térmica 513

26.3.3. Dilatación térmica 513

26.3.4. Óxido de aluminio 514

26.4. Procesos de soldeo 514

26.5. Recomendaciones para la realización del soldeo 514

26.5.1. Geometría de la unión 514

26.5.2. Precalentamiento 515

26.5.3. Limpieza y preparación de las superficies antes del soldeo ... 516

26.5.4. Punteado 516
26.5.5. Metales de aportación 517
26.5.6. Tratamiento térmico postsoldeo 519
26.6. Soldeo TIG 519
26.6.1. Gas de protección 519
26.6.2. Imperfecciones típicas 520
26.6.3. Soldeo TIG con corriente alterna 520
26.6.4. Soldeo TIG con corriente continua electrodo negativo 521
26.7. Soldeo MIG 521
26.7.1. Equipo de soldeo 521
26.7.2. Gas de protección y transferencia del metal de aportación 521
26.7.3. Técnica de soldeo 523
26.8. Soldeo por arco con electrodo revestido 523
26.9. Soldeo oxigás 524
26.10. Soldeo fuerte 525
26.11. Soldeo blando 526

26.1. Propiedades del Aluminio

El aluminio es un metal ligero, de color blanco plateado y relativamente blando.

Si se comparan dos piezas de las mismas dimensiones una de aluminio y la otra de acero, el peso de la primera será la tercera parte del de la segunda, lo que significa que la densidad del aluminio es la tercera parte de la densidad del acero.

El aluminio es conocido también por su buena resistencia a la corrosión frente al aire, agua, aceites, alimentos y muchos agentes químicos, esta resistencia se debe a la existencia de una capa de óxido de aluminio, denominada alúmina, que no permite la corrosión del metal. Esta capa de alúmina es muy refractaria, es decir tiene una temperatura de fusión muy elevada y se debe retirar antes o durante el soldeo para permitir una buena fusión del metal base.

El aluminio es un metal muy dúctil (incluso a muy bajas temperaturas) y con baja resistencia mecánica, sin embargo las aleaciones de aluminio tienen mayor resistencia mecánica que el aluminio puro porque los elementos de aleación endurecen y mejoran las características mecánicas del aluminio.

El aluminio puro se utiliza principalmente en aplicaciones eléctricas, debido a su buena conductividad eléctrica superior a la de las aleaciones de aluminio.

26.2. Aleaciones de Aluminio

El aluminio se alea principalmente con el cobre, magnesio, silicio y cinc, también se suelen añadir pequeñas cantidades de cromo, hierro, níquel y titanio. Existen multitud de aleaciones de aluminio, con la ventaja de que cada una de ellas posee alguna característica superior a la del aluminio sin alear.

Las piezas de las aleaciones de aluminio pueden obtenerse por moldeo (consiguiéndose piezas de formas variadas) o mediante procesos que conllevan una deformación, como la laminación o la forja con los que se obtienen chapas, barras, tubos, alambres, perfiles, etc., a las aleaciones destinadas a la obtención de este tipo de productos se las denomina aleaciones para forja.

Tanto en el grupo de las aleaciones para forja, como en el de las aleaciones para moldeo, se pueden distinguir dos tipos de aleaciones:

- Aleaciones tratables térmicamente, que también se denominan bonificables o endurecibles por tratamiento térmico.
- Aleaciones no tratables térmicamente, que también se denominan no bonificables o no endurecibles por tratamiento térmico.

El tratamiento térmico de bonificado consiste en un calentamiento a unos 500º C con enfriamiento rápido, posteriormente y dependiendo de la aleación se realizará una maduración natural o artificial, la maduración natural consiste en el mantenimiento a temperatura ambiente y la artificial en un mantenimiento a unos 200º C.

Si se realiza este tratamiento sobre las aleaciones bonificables aumenta su dureza y resistencia mecánica, mientras que aunque se realizara sobre las aleaciones no bonificables no experimentarían ningún cambio en sus propiedades.

26.2.1. Designación de las aleaciones de aluminio para forja

Sólo se expondrán las aleaciones para forja puesto que son las que más se destinan a trabajos de soldeo.

Según la norma UNE 38-300 "Aluminio y aleaciones para forja. Generalidades", el aluminio y las aleaciones de aluminio para forja constituyen la serie L-3XXX. Esta serie se clasifica en grupos, atendiendo a los principales elementos de aleación. Se consideran los grupos siguientes que se indican en la tabla 26.1.

Designación de grupo	Aleación
Grupo L-30XX	Aluminio
Grupo L-31XX	Aleaciones de Aluminio-Cobre (Al-Cu)
Grupo L-33XX	Aleaciones de Aluminio-Magnesio (Al-Mg)
Grupo L-34XX	Aleaciones de Aluminio-Magnesio-Silicio (Al-Mg-Si)
Grupo L-35XX	Aleaciones de Aluminio-Silicio (Al-Si)
Grupo L-36XX	Aleaciones varias
Grupo L-37XX	Aleaciones Aluminio-Cinc (Al-Zn)
Grupo L-38XX	Aleaciones Aluminio-Manganeso (Al-Mn)
Grupo L-39XX	Aleaciones Aluminio-Estaño (Al-Sn)

Nota: En la designación de las aleaciones plaqueadas se sustituirá L por LP.

TABLA 26.1: ALUMINIO Y SUS ALEACIONES PARA FORJA. NOMENCLATURA DE ACUERDO CON UNE 38-300

La designación americana, según la Aluminium Association (AA), consiste en cuatro dígitos. El primer dígito identifica el grupo de aleación, ver tabla 26.2, el segundo dígito indica una modificación de la aleación inicial o el límite de impurezas en el caso de aluminio no aleado.

Grupo de aleación	Designación de la serie
Aluminio, pureza mínima: 99,00%	1XXX
Aluminio-cobre	2XXX
Aluminio-manganeso	3XXX
Aluminio-silicio	4XXX
Aluminio-magnesio	5XXX
Aluminio-magnesio-silicio	6XXX
Aluminio-cinc	7XXX
Aluminio-otros elementos	8XXX

TABLA 26.2: DESIGNACIÓN DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES PARA FORJA DE ACUERDO CON ALUMINUM ASSOCIATION

26.2.2. Comportamiento de las aleaciones de aluminio frente al soldeo

Las aleaciones no bonificables según designación AA son las 1XXX, 3XXX y algunas 4XXX y 5XXX, siendo las aleaciones de este tipo soldables.

La aleaciones bonificables según designación AA son las 2XXX y algunas 4XXX, 5XXX, 6XXX y 7XXX. El soldeo no es recomendable para muchas de las aleaciones de este tipo, sin embargo sí se pueden soldar casi todas las aleaciones 5XXX, 6XXX y las aleaciones 2219, 7005 y 7039. En la tabla 26.3 se indica la soldabilidad de algunas aleaciones de aluminio, habiéndose seleccionado casi todas las que son soldables por procesos TIG y MIG.

Tipo de aleación	Designación		Proceso			
	UNE	Aluminum Association	MIG TIG	Por resistencia, por puntos o por costura	Soldeo fuerte	Soldeo blando
No bonificable	L-3001	1100	A	A	A	A
	L-3810	3003	A	A	A	A
	L-3820	3004	A	A	B	B
	L-3360	5052 5652	A	A	C	C
	L-3321	5083	A	A	X	X
	L-3322	5086	A	A	X	X
	L-3390	5454	A	A	X	X
		5456	A	A	X	X
Bonificable	L-3140	2024	C	A	X	C
	L-3191	2219	A	A	X	C
	L-3420	6061	A	A	A	B
	L-3441	6063	A	A	A	B
	L-3431	6101	A	A	A	A
	L-3451	6351	A	A	A	A
	L-3741	7005	A	A	B	B
	L-3731	7039	A	A	C	B
	L-3710	7075	C	A	X	C

A- Aleación soldable por el proceso indicado.
B- Aleación soldable por el proceso indicado en la mayoría de los casos. Puede requerir técnicas o ensayos especiales para determinar las técnicas adecuadas.
C- Difícilmente soldable mediante el proceso indicado.
X- No se recomienda el soldeo por el proceso indicado.

TABLA 26.3: SOLDABILIDAD DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO DE ACUERDO CON EL PROCESO DE SOLDEO

26.3. Factores Influyentes en la Realización de las Uniones Soldadas

26.3.1. Temperatura de fusión del aluminio

El aluminio puro funde a unos 660° C y las aleaciones de aluminio a unos 560°C, temperaturas muy bajas en comparación con la del acero (1535° C) y la del cobre (1.082° C). Sin embargo las aleaciones de aluminio no cambian de color durante el calentamiento, por lo que se corre el riesgo de perforar la pieza.

26.3.2. Conductividad térmica

Las aleaciones de aluminio conducen el calor tres veces más rápido que el acero (ver figura 26.1), esto significa que se requiere un aporte térmico más elevado para soldar una pieza de aluminio que una de acero, aunque ambas tengan las mismas dimensiones. Para conseguir una buena fusión cuando la pieza tenga gran espesor, es necesario realizar un precalentamiento.

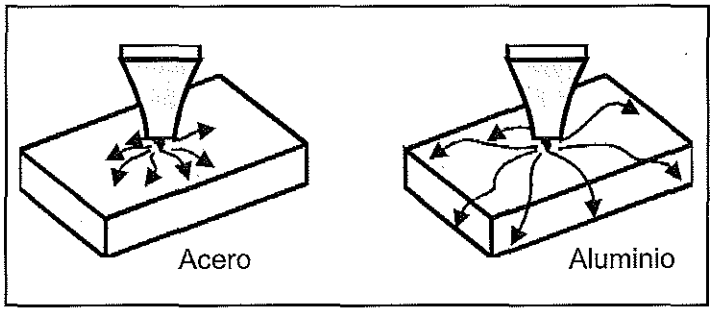


FIGURA 26.1: COMPARACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL ACERO Y DEL ALUMINIO

26.3.3. Dilatación térmica

Las aleaciones de aluminio se dilatan dos veces más que el acero al calentarse, lo que puede provocar grandes tensiones internas y deformaciones en las piezas durante el soldeo. También es mayor la tendencia a la disminución de la separación en la raíz en las piezas a tope. El soldeo a bajas velocidades y con gran cantidad de metal de aportación incrementa las deformaciones y la tendencia a la rotura.

26.3.4. Óxido de aluminio

En las aleaciones de aluminio, en presencia de aire, se forma alúmina (óxido de aluminio) con gran facilidad. Este óxido tiene una temperatura de fusión muy elevada, unos 1200° a 2000° C mayor que la temperatura de fusión del aluminio. Por tanto el aluminio funde antes que su óxido y cuando esto sucede la película de óxido impide la fusión entre el metal base y el metal de aportación, por lo que es imprescindible eliminar o retirar la capa de óxido mediante un decapado químico, un fundente, amolado o mediante la acción decapante del arco eléctrico.

En el soldeo TIG y MIG (con CCEN o corriente alterna) el arco eléctrico decapa la superficie de la pieza eliminando el óxido y la envoltura del gas inerte previene la contaminación del baño.

En algunas ocasiones, y debido a una mala limpieza, se puede quedar atrapado algún óxido en el baño de fusión que constituirá una imperfección en la soldadura. Es imprescindible limpiar las piezas antes del soldeo y cepillarlas utilizando cepillos con púas de acero inoxidable, estos cepillos deberán destinarse exclusivamente a la limpieza de aluminio.

26.4. Procesos de Soldeo

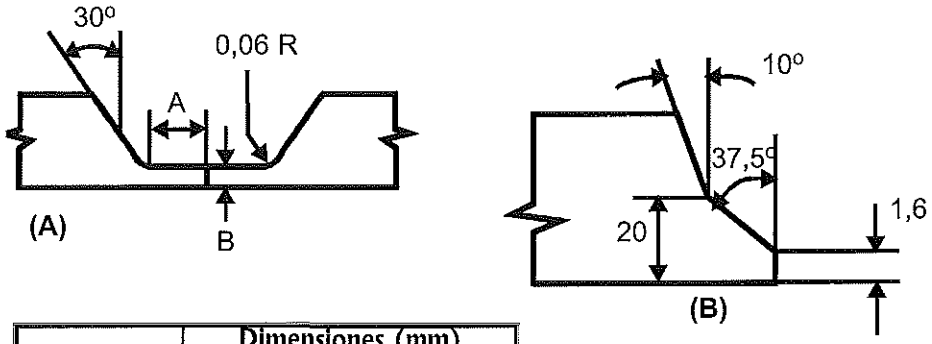
El aluminio y sus aleaciones pueden soldarse mediante la mayoría de los procesos de soldeo por fusión, así como por soldeo fuerte, blando y soldeo en estado sólido. El soldeo por fusión se suele realizar mediante TIG, MIG, por resistencia, plasma, láser y haz de electrones. El soldeo con electrodos revestidos y oxigás sólo se emplea en reparaciones, o cuando no es posible utilizar otro proceso por carencia de medios, el soldeo por arco sumergido no se utiliza.

26.5. Recomendaciones para la Realización del Soldeo

26.5.1. Geometría de la unión

Un diseño especial [ver figura 26.2 (A)] se puede emplear cuando sólo se puede realizar el soldeo TIG o MIG por un lado y sea imprescindible obtener una raíz suave y lisa. Se puede utilizar para espesores mayores de 3 mm y en cualquier posición. Aunque se consigue con gran facilidad una buena penetración, se requiere gran cantidad de metal de aportación y las deformaciones pueden ser mayores que las que se producen con diseños convencionales. Se aplica principalmente en tubería, sobre todo en posición fija.

En las uniones en V no se recomiendan ángulos de chaflán menores de 60º, para espesores gruesos se puede utilizar la geometría de la figura 26.2 (B).



Proceso	Dimensiones (mm)	
	A	B
TIG	5	1,5 - 2
MIG	1,5	1,5

FIGURA 26.2: GEOMETRÍA DE LA UNIÓN PARA CASOS ESPECIALES

26.5.2. Precalentamiento

No suele ser necesario el precalentamiento. Como excepción se consideran las piezas de gran espesor en las que un precalentamiento adecuado puede disminuir el aporte térmico requerido para conseguir la fusión y penetración requeridas. Aunque puede ser habitual precalentar cuando se realizan soldaduras TIG, no lo es cuando se emplea el MIG.

No se debe abusar del precalentamiento pues puede ser perjudicial para el aluminio, así en las aleaciones bonificables como la AA 6061 un precalentamiento a temperatura elevada disminuirá las propiedades mecánicas. Las aleaciones con 3-5,5% de magnesio, como las 5XXX, no deben precalentarse por encima de 115º C y la temperatura entre pasadas será inferior a 150º C.

En la tabla 26.4 se indican las temperaturas de precalentamiento recomendadas.

En muchas ocasiones se utilizan lápices térmicos para determinar la temperatura de la pieza.

TUBERÍA				CHAPA		
Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Temperatura de precalentamiento (°C)		Espesor (mm)	Temperatura de precelentamiento (°C)	
		TIG (c.a.)	MIG		TIG (c.a.)	MIG
25 - 150	3	Ninguna	NR	3 - 9	Ninguna	Ninguna
25 - 75	6	65	Ninguna	9 - 12	150 - 175	Ninguna
75 - 150	6	65 - 150	Ninguna	19 - 75	NR	65 opcional

NR = Proceso no recomendado
Ninguna = No precalentar

TABLA 26.4: TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO PARA UNIONES EN TUBERÍA Y CHAPA A TOPE DE ALEACIONES DE ALUMINIO

26.5.3. Limpieza y preparación de las superficies antes del soldeo

Para preparar las superficies se suele utilizar corte y achaflanado por plasma.

Es de la mayor importancia realizar una limpieza de las piezas antes de proceder al soldeo, ya que cualquier resto de grasa, aceite u óxido puede empeorar la calidad de la soldadura. Se pueden utilizar disolventes alcalinos que no producen vapores tóxicos. Un método muy común es limpiar con un trapo embebido en un disolvente, como alcohol o acetona. Las superficies deberán estar completamente secas antes de comenzar el soldeo, de lo contrario se producirán poros. Las capas de óxido se retirarán mediante cepillado (cepillos con púas de acero inoxidable) y mejor aún mediante rasqueteado.

Cualquier piedra de esmeril, cepillo o lija que se utilice deberá emplearse exclusivamente para aluminio. No se deberá trabajar acero y aluminio en la misma zona de un local ya que se pueden contaminar las piezas de aluminio.

26.5.4. Punteado

Debe ser cuidadoso y se recomienda eliminar los puntos a medida que avanza la soldadura. En el caso de ser incorporados a la soldadura se resanarán las grietas o defectos de los puntos antes del soldeo, preparándose el principio y el final del

punto para permitir una buena fusión de éste. En las soldaduras por ambos lados se resanará antes de realizar la primera pasada por el otro lado. Como regla general, cada punto tendrá una longitud de 10 veces el espesor de la pieza.

26.5.5. Metales de aportación

Se pueden utilizar tanto varillas como alambres y electrodos revestidos.

Clasificación

La designación más utilizada es la de la AWS. En la especificación ANSI/AWS A5.3 se indica la designación de los electrodos revestidos y en ANSI/AWS A5.10 se indica la designación de las varillas y alambres para soldeo TIG y MIG. La designación de los metales de aportación está representada en la figura 26.3.

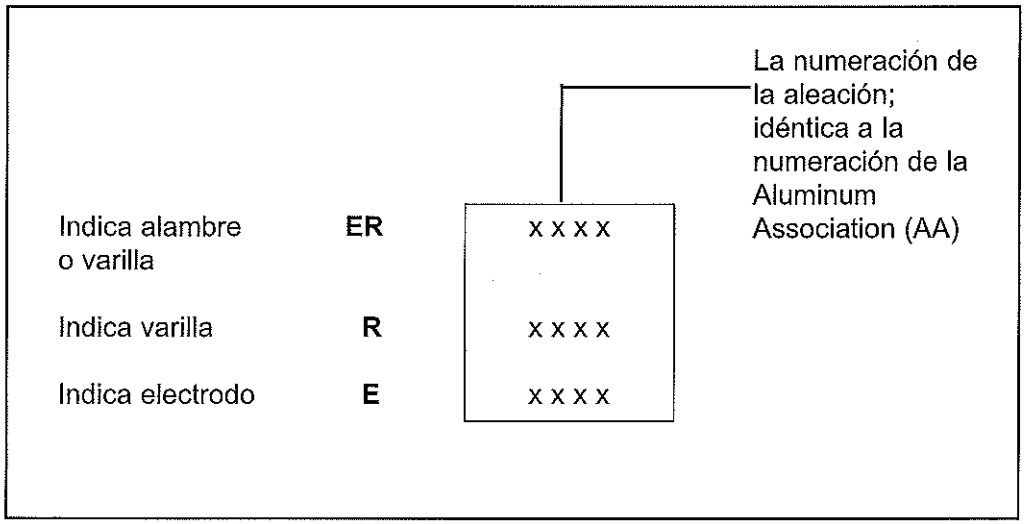


FIGURA 26.3: DESIGNACIÓN DE LOS MATERIALES DE APORTACIÓN DE ALUMINIO CONFORME A AWS

Electrodos revestidos

Sólo están clasificados los que se indican en la Tabla 26.5.

Todos ellos se utilizan en corriente continua electrodo positivo. Su revestimiento tiene tendencia a absorber humedad, por lo que deberán almacenarse en lugares con temperatura y humedad controladas debiéndose realizar un secado antes del soldeo, ya que un electrodo húmedo produciría poros en las soldaduras.

Clasificació AWS	Composición química, designación genérica
E 1100	Aluminio puro
E 3003	Aluminio - 1% manganeso
E 4043	Aluminio - 5,2% silicio (Aleación destinada a la fabricación de electrodos y varillas para soldeo)

TABLA 26.5: ELECTRODOS REVESTIDOS PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES DE ACUERDO CON AWS A5.3

Alambres o varillas

Los alambres y varillas empleados son los de la tabla 26.6, siendo los más comunes los que aparecen en negrita.

Clasificación AWS	Composición química, designación genérica
ER 1100	Aluminio puro
ER 2319	Aluminio - 6% Cobre - 0,3% Manganeso (Es una variante de la 2219)
ER 4043	Aluminio - 5,2% Silicio (Aleación destinada a la fabricación de electrodos y varillas)
ER 4047	Aluminio - 12% Silicio
ER 4145	Aluminio - 10% Silicio - 4% Cobre
ER 5183	Aluminio - 4,5% Magnesio - 0,65% Manganeso (Es una variante de la 5083)
ER 5356	Aluminio - 5% Magnesio - 0,3% (Manganeso + Cromo)
ER 5554	Aluminio - 2,9% Magnesio - 0,65% Manganeso
ER 5556	Aluminio - 5% Magnesio - 0,7% Manganeso
ER 5654	Aluminio - 3,5% Magnesio

TABLA 26.6: ALAMBRES Y VARILLAS PARA EL SOLDEO DE ALUMINIO DE ACUERDO CON AWS A5.10

26.5.6. Tratamiento térmico postsoldeo

En algunas ocasiones se realiza el tratamiento térmico de bonificado a las piezas soldadas de aleaciones de aluminio tratables térmicamente.

En otras ocasiones se realizan tratamientos para disminuir las tensiones internas. Puede ser beneficioso realizar un martillado de las soldaduras, que sólo se realizará en las soldaduras de gran espesor.

26.6. Soldeo TIG

Atendiendo al tipo de corriente empleado se pueden presentar las siguientes posibilidades:

- Corriente continua con polaridad inversa (CCEP). Se produce un calentamiento excesivo del electrodo y una gran inestabilidad del arco. Debido al bombardeo de iones positivos, que se producen en el electrodo y que impactan en la pieza, el arco tiene un buen efecto decapante sobre el baño de fusión lo que origina la destrucción de la capa de alúmina. Se podrá utilizar solo para espesores muy pequeños, inferiores a 1,5 mm.
- Corriente continua con polaridad directa (CCEN). Por ser la pieza el ánodo, no existe acción decapante sobre ella pues los iones positivos son emitidos por la pieza y no impactan en ella. La capa de alúmina no se disgrega y la soldadura tiene tendencia a incorporar óxidos. Para soldar en estas condiciones es imprescindible una buena limpieza previa. Se emplea solamente para espesores muy gruesos ya que se consigue buena penetración.
- Corriente alterna (C.A.). Es el tipo de corriente más utilizada. La limpieza o decapado de la pieza tiene lugar cuando el electrodo es positivo, aunque en este semiciclo la penetración es reducida y el electrodo se calienta. Cuando actúa de negativo se enfría y no se produce el decapado de la pieza, pero la penetración es buena. Como resultado, en corriente alterna se consigue una penetración y limpieza intermedias pero adecuadas.

26.6.1. Gas de protección

Se emplea normalmente argón, aunque para el soldeo de piezas de gran espesor se puede utilizar mezclas de argón + helio. En el caso de soldeo CCEN se utiliza helio o argón + helio.

No es necesario el empleo de gas de respaldo.

El caudal de gas de protección suele ser mayor que el empleado en el soldeo de acero al carbono, siendo tanto mayor cuanto mayor sea el espesor de la pieza. Se deberá utilizar un caudal mayor cuando se suelda en vertical ascendente y tubería en posición cornisa, por el efecto chimenea. Cuando se suelda tubería fija el caudal puede llegar a ser de 17-38 l/min.

26.6.2. Imperfecciones típicas

Las más comunes son inclusiones de volframio y de óxidos, poros y grietas de cráter. La protección y limpieza serán adecuadas si se obtienen soldaduras brillantes con ambos bordes plateados, un cordón oxidado es el resultado de una baja intensidad, poca cantidad de gas de protección o una longitud de arco excesiva.

26.6.3. Soldeo TIG con corriente alterna

En el soldeo TIG con corriente alterna se suele utilizar una corriente de alta frecuencia para facilitar el cebado sin contacto (ver 12.7.2.) y para conseguir el reencendido del arco (12.2.2.).

Se suele emplear onda cuadrada con control de balance de la onda (ver figura 12.4 y apartado 12.3.2.) de forma que se puede alargar el período de tiempo en el que el electrodo es positivo y se produce el decapado de la pieza.

Electrodo de volframio

En el soldeo en corriente alterna se emplean electrodos de volframio puro, a veces se utiliza volframio con óxidos de circonio. En el caso de onda cuadrada también se puede emplear electrodos de volframio con torio.

Después del soldeo la punta debe quedar en forma de media esfera brillante. En el soldeo en c.a. el extremo del electrodo debe ser ligeramente redondeado (ver 12.4.3.). En la figura 26.4. se representa la forma del electrodo para soldeo en c.a. de aleaciones de aluminio.

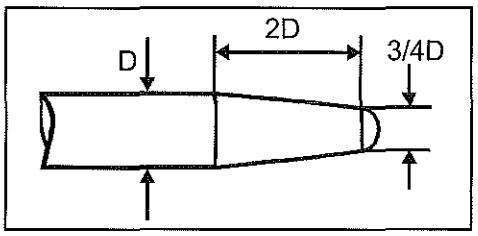


FIGURA 26.4: FORMA APROXIMADA DE LA PUNTA DEL ELECTRODO PARA EL SOLDEO TIG DE ALEACIONES DE ALUMINIO CON C.A.

El electrodo sobresaldrá de la tobera una longitud aproximadamente igual a la mitad del diámetro interior de la tobera.

26.6.4. Soldeo TIG con corriente continua electrodo negativo

El soldeo en corriente continua electrodo negativo se utiliza para el soldeo de grandes espesores sin necesidad de precalentamiento. Suele utilizarse en soldeo automático y con helio como gas de protección. Es imprescindible realizar un decapado previo al soldeo y entre pasadas.

La superficie de la soldadura después del soldeo permanecerá con una capa de óxido que se retirará mediante cepillado.

26.7. Soldeo MIG

26.7.1. Equipo de soldeo

El sistema de alimentación de alambre puede ser de arrastre, de empuje o arrastre-empuje (ver apartado 13.2.2.). En la tabla 26.7 se indican las aplicaciones de cada uno de ellos.

Los rodillos deben ser con forma de U (ver figura 26.5) y la guía del electrodo-alambre debe ser de teflón, no una espiral de acero como lo que se utiliza en el soldeo MAG de acero al carbono.

Para el soldeo MIG con alambres de pequeño diámetro se utilizan fuentes de energía de tensión constante con alimentadores de alambre de velocidad constante, para el soldeo con alambres de gran diámetro se pueden utilizar fuentes de energía de intensidad constante y alimentadores de velocidad variable.

26.7.2. Gases de protección y transferencia del metal de aportación

Como gas de protección normalmente se utiliza el argón, en algunos casos se utilizan mezclas de argón + helio.

El tipo de transferencia utilizada se indica en la tabla 26.8.

Sistema de alimentación	Situación de los rodillos	Distancia máxima desde la bobina a la pistola (m)	Aplicaciones
Empuje "push"	Próximos a la bobina de alambre	3 - 3,6	Aleaciones de aluminio de alta resistencia de diámetros mayores de 1,6 mm
Arrastre "pull"	En la pistola	3 - 3,6	Aleaciones de aluminio blandas y diámetros de alambre inferiores a 1,6 mm
Arrastre-empuje "push-pull"	En la pistola y próximos a la bobina de alambre	7,5	Aplicable a todo tipo de aleaciones y diámetros

TABLA 26.7: UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE PARA SOLDEO MIG DE ALEACIONES DE ALUMINIO

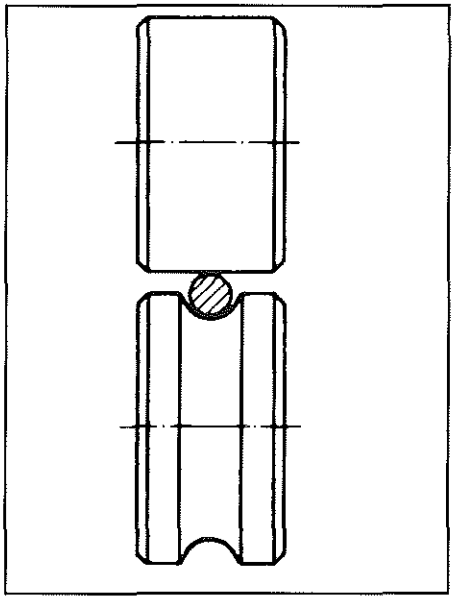


FIGURA 26.5: RODILLOS PARA SOLDEO MIG DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Tipo de transferencia	Aplicación
Transferencia "spray"	Es la transferencia normal en el soldeo MIG del aluminio
Transferencia por arco pulsado	Se utiliza para el soldeo en cualquier posición
Transferencia globular	No se utiliza porque sólo se consigue una fusión incompleta
Transferencia por cortocircuito	No se utiliza porque no permite una buena fusión ni buena limpieza persistiendo la capa de óxido

TABLA 26.8: TIPOS DE TRANSFERENCIA EN EL SOLDEO MIG DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

26.7.3. Técnica de soldeo

En el soldeo multipasada se utilizará para la primera la tensión más baja que permita una buena fusión y limpieza, aumentando la tensión en las pasadas siguientes.

Se suele utilizar una técnica de soldeo hacia adelante de forma que comience la limpieza antes de la fusión del metal base, se inclinará la pistola unos 7° a 12° hacia la dirección de soldeo. En el soldeo en cornisa se dirige el arco hacia la pieza superior, en el soldeo de dos piezas de diferente espesor se dirigirá hacia la pieza de mayor espesor. Para apagar el arco o bien se aumenta la velocidad de soldeo hasta separar al electrodo de la pieza, o bien se cambia el sentido de soldeo y se corta el arco en el cordón de soldadura. En otras ocasiones se utilizan apéndices de forma que se puede apagar el arco sobre éstos.

Las aleaciones bonificables se soldarán con cordones rectos.

Las imperfecciones típicas en el soldeo MIG del aluminio son faltas de fusión, grietas de cráter, porosidad e inclusión de óxidos.

26.8. Soldeo por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido

Este es un procedimiento poco utilizado por la falta de homogeneidad del

cordón obtenido. Sólo se utiliza en reparaciones y para realizar soldaduras de pequeño tamaño y poca importancia.

Los aspectos más importantes a tener en cuenta durante y después del soldeo son:

- Contenido de humedad de los electrodos, éstos deberán permanecer en una atmósfera seca y proceder a su secado antes de utilizarlos.
- Limpieza del material base y del electrodo.
- Precalentamiento del metal base, necesaria en el soldeo de espesores grandes y piezas complicadas.
- Eliminación de la escoria tanto entre pasadas como al final del soldeo, si permaneciera tras el soldeo favorecería la corrosión del aluminio por lo que se eliminará mediante medios mecánicos (cepillo y piqueta) y mediante agua caliente o algún disolvente.

El espesor mínimo recomendado para el soldeo por arco con electrodos revestidos es 3 mm, a las piezas de espesores mayores de 6 mm se las realizará un chaflán en V de 60º - 90º, para espesores mayores se recomiendan preparaciones en U. En función del espesor el talón será de 1,5 hasta 6 mm y la separación en la raíz entre 0,7 - 1,5 mm.

26.9. Soldeo Oxigás

El aluminio y sus aleaciones pueden ser soldadas mediante oxigás, sin embargo sólo se debe utilizar en reparaciones y para aplicaciones de poca importancia. La mayor ventaja del soldeo oxigás es la simplicidad del equipo de soldeo, sin embargo tiene numerosas desventajas como, por ejemplo, la necesidad de utilizar un fundente, la baja velocidad del proceso, la gran anchura de la zona afectada térmicamente, las grandes deformaciones producidas y la facilidad con la que se producen imperfecciones. El soldeo oxigás se suele aplicar a piezas de espesores comprendidos entre 0,7 y 25 mm.

Combustible

Como combustible se recomienda el acetileno con llama neutra, aunque a veces una llama ligeramente carburante (con exceso de acetileno) da buenos resultados pues permite reducir la formación de óxidos.

Fundente

Para retirar la capa superficial de óxido de aluminio es imprescindible el empleo

de un fundente, que suele obtenerse en polvo o mezclado con agua formando una pasta. La varilla de metal de aportación se recubrirá uniformemente con el fundente, introduciendo la varilla en éste o pintando la varilla ligeramente, igualmente se deberá recubrir las superficies a unir del metal base.

Después del soldeo se debe eliminar completamente cualquier residuo de fundente, para ello se introducen las piezas pequeñas en baños que contienen pequeñas cantidades de ciertos ácidos (nítrico o sulfúrico) y, posteriormente, se lavan con agua caliente o fría. También se puede limpiar las piezas con vapor, especialmente las que por su tamaño o localización no pueden ser introducidas en un baño.

Geometría de la unión

Cuando las piezas tengan espesores mayores de 5 mm se realizarán chaflanes en V simple, que se emplearán hasta espesores de 12 mm. No se recomienda la utilización de placas de respaldo permanente ni tampoco las uniones a solape, ya que el fundente se puede quedar atrapado y provocar la corrosión del metal base.

Técnica de soldeo

Será necesario realizar un precalentamiento cuando el espesor de la pieza sea elevado; para realizar el soldeo inicialmente se mueve circularmente la llama para precalentar ambos bordes de la unión, la llama se mantiene sobre el lugar donde va a comenzar el soldeo hasta que se forma el baño de fusión, donde se introducirá la varilla de metal de aportación y se avanzará por la unión utilizando una técnica hacia adelante y oscilando la llama para fundir ambos lados del chaflán, el cono de la llama se mantendrá a una distancia de 1,5 a 6 mm del baño de fusión.

26.10. Soldeo Fuerte

Gran cantidad de aleaciones de aluminio pueden unirse mediante soldeo fuerte, sin embargo este proceso no es adecuado para todas las aleaciones de aluminio; el factor más importante que determina si con una aleación se puede realizar su soldeo fuerte es su temperatura de fusión; ya que en muchos casos la temperatura de fusión del metal base es muy próxima a la del metal de aportación; en esta situación se encuentran las aleaciones Al-Cu (2XXX) y algunas 7XXX (7055, 7178 y 7001).

Como metales de aportación se utilizan aleaciones aluminio-silicio (Al-Si), para realizar la selección se deberá tener en cuenta que su temperatura de fusión esté por debajo de la del metal base, sobre todo en el soldeo con soplete. Como de costumbre, es imprescindible realizar una limpieza previa al soldeo tanto de los metales base como de las varillas de aportación.

Se aplicará el fundente generalmente en forma de pasta (obtenida con fundente en polvo y agua o alcohol); se recomienda no utilizar un exceso de fundente porque favorece la corrosión del aluminio.

Después del soldeo se eliminará el fundente con agua caliente ayudándose de un cepillito de fibra; no se deberá utilizar cepillos de alambre. Para ello se introduce la pieza todavía caliente en agua caliente y se cepilla. También se utilizan diversos ácidos.

26.11. Soldeo Blando

Del mismo modo que en el soldeo fuerte debe emplearse un fundente para eliminar la capa de óxido, evitar el contacto con el aire y favorecer el mojado del material por el aporte.

Los residuos del fundente deben ser siempre eliminados. Son higroscópicos, es decir, absorben humedad. Su eliminación es fácil porque puede hacerse con agua caliente.

Los metales principales utilizados en los aportes son el estaño, cinc, plomo y cadmio.

Los aportes de temperatura elevada de base cinc son los que consiguen mejores propiedades mecánicas y comportamiento a corrosión.

Capítulo 27

Níquel y sus Aleaciones

INDICE

27.1. Propiedades del níquel 528

27.2. Aleaciones de níquel 528

27.3. Factores influyentes en la realización de las uniones soldadas 530

27.4. Metales de aportación para el soldeo por fusión 532

27.5. Procesos de soldeo y corte 535

27.5.1. Soldeo por arco con electrodos revestidos 536

27.5.2. Soldeo TIG 537

27.5.3. Soldeo MIG 537

27.5.4. Soldeo por arco sumergido 538

27.5.5. Soldeo oxigás 538

27.5.6. Soldeo fuerte y blando 538

27.5.7. Corte térmico 539

27.1. Propiedades del Níquel

El níquel es un metal duro, tenaz y maleable de color blanco plateado, que posee buenas características contra la corrosión y la oxidación, es un metal magnético (es atraído por los imanes). Se emplea:

- Como elemento primordial en las aleaciones de níquel.
- Como elemento de aleación en:
  - aceros inoxidables austeníticos y dúplex
  - aceros para aplicaciones criogénicas
  - aleaciones de cobre.
- Como recubrimiento anticorrosivo de otros metales.

27.2. Aleaciones de Níquel

Los principales elementos que se asocian con el níquel en sus aleaciones son hierro, cromo, cobre, molibdeno y cobalto, como componentes principales, existiendo otros elementos que se adicionan en menor proporción para actuar sobre las propiedades mecánicas.

Las aleaciones de níquel, en general, tienen las siguientes propiedades:

- Resistentes a la corrosión en numerosos ambientes: atmosférico, agua, ácidos, alimentos y gases, siendo también resistentes a temperaturas muy elevadas (en algunas ocasiones hasta 1175°C).
- Alta resistencia mecánica manteniendo sus propiedades a temperaturas elevadas (680° - 980°C).
- Gran tenacidad, ductilidad y resiliencia incluso a bajas temperaturas, por ejemplo a -150°C.

Las aleaciones de níquel pueden clasificarse en dos tipos:

- Tratables térmicamente. Las más usuales son:
  - Níquel - cobre
  - Níquel - cromo
  - Níquel - hierro - cromo

- No tratables térmicamente. Las más usuales son:
  - Níquel - cobre
  - Níquel - cromo
  - Níquel - cromo - hierro
  - Níquel - molibdeno
  - Níquel - cromo - molibdeno

El tratamiento térmico se realiza para endurecer y aumentar la resistencia mecánica y consiste, como en el aluminio, en un calentamiento, enfriamiento rápido y maduración a temperatura ambiente o a temperaturas mayores, dependiendo de la aleación.

Las aplicaciones del níquel suelen estar en la industria química y petroquímica, en álabes para turbinas y otras piezas para aviación, hornos, tubos de intercambiadores de calor, centrales nucleares y térmicas, piezas de motores, válvulas...

En la tabla 27.1 se indican los nombres comerciales, la designación UNS y la composición química de algunas aleaciones base níquel. Se indican los nombres comerciales no con ánimo de hacer propaganda, sino porque son las designaciones más utilizadas.

Tipo de aleación										
Composición química (Peso %)	Designación comercial	No endurecibles por precipitación				Tratadas térmicamente por endurecimiento por precipitación				
		Monel 400	Inconel 600	Hastelloy X	Incoloy 800	Monel K-500	Inconel X750	Nimonic 80A	René 41	Inconel 718
	Número UNS	N04400	N06600	N06002	N08800	N05500	N07750	N07080	N07041	N07718
Níquel		66,5	76	47	32,5	66,5	73	76	55	52,5
Carbono		0,2	0,08	0,10	0,05	0,0	0,04	0,06	0,1	0,04
Cromo		--	15,5	22	21	--	15,5	19,5	19	19
Molibdeno		--	--	9	--	--	--	--	10	3,0
Hierro		1,2	8,0	18	46	1	7	--	1	18,5
Cobalto		--	--	1,5	--	--	--	--	10	--
Aluminio		--	--	--	0,4	2,7	0,7	1,6	1,5	0,5
Titanio		--	--	--	0,4	0,60	2,5	2,4	3,0	0,9
Niobio (1)		--	--	--	--	--	1	--	--	5,1
Manganeso		1	0,5	1	0,8	0,08	0,5	0,3	0,05	0,2
Silicio		0,2	0,2	1	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Cobre		31,5	0,2	--	--	29,5	0,5	--	--	--
Boro		--	--	--	--	--	--	0,006	0,005	--

(1) Incluye también tántalo.

TABLA 27.1: ALEACIONES BASE NÍQUEL COMUNES

27.3. Factores Influyentes en la Realización de las Uniones Soldadas

Las aleaciones de níquel se pueden considerar como de buena soldabilidad, sin embargo el comportamiento de una aleación a otra puede variar en gran medida; incluso pequeñas diferencias en la composición química pueden resultar críticas. El soldeo de las aleaciones tratables térmicamente resulta más complejo, en algunos casos no se podrá realizar. Estas aleaciones deberán soldarse en estado de recocido, disminuyendo al máximo las tensiones durante el soldeo y aplicando posteriormente el tratamiento adecuado, de lo contrario podrán agrietarse.

En el soldeo de las aleaciones de níquel se deben tomar las siguientes precauciones:

- **Extremar la limpieza.** Es condición primordial para el soldeo de cualquier aleación base níquel que las piezas y el material de aportación se encuentren completamente limpios. La limpieza debe llevarse a cabo justo antes de soldar e incluye la eliminación de todo tipo de grasa, suciedad, fluidos de corte, cascarilla, pinturas y películas resultantes de la contaminación atmosférica. El azufre está presente en casi todos los aceites y grasas y es sumamente perjudicial para el níquel, ya que provoca la formación de grietas. Cuando se almacenan aleaciones de níquel en un ambiente industrial, se forma una película que contiene azufre y que se deberá eliminar con abrasivos. En cualquier otro caso se realizará una limpieza enérgica con cepillo de alambre de acero inoxidable o muela en una extensión de al menos 25 mm a cada lado de la unión, a esta limpieza mecánica le seguirá un desengrasado químico, utilizando un disolvente. El soldeo no comenzará hasta que la pieza esté completamente seca.

- **Realizar el soldeo con la pieza en estado de recocido.** Esta recomendación es imprescindible en algunas aleaciones y, sin embargo, en otras no es necesaria.

- **Utilizar un diseño de la unión que permita**:

  - Bajas deformaciones.

  - Una adecuada manipulación del metal de aportación y depositar cordones rectos en el chaflán de la unión. En las aleaciones de níquel, el baño de fusión no es tan fluido, ni "moja" tan bien el metal, como el acero al carbono o el acero inoxidable, por lo que suele ser necesario chaflanes con ángulos mayores. Mayor cuidado se debe tener en el soldeo de algunas aleaciones tratables térmicamente, puesto que

funden muy lentamente y se pueden producir faltas de fusión, en estas aleaciones se suelen formar óxidos o escorias durante el soldeo por lo que es necesario realizar limpieza entre cordones, incluso cuando se suelda con gas de protección. Al ser más difícil conseguir penetración completa, se recomienda el soldeo por ambas caras con resanado.

En la figura 27.1. se indican los diseños más utilizados.

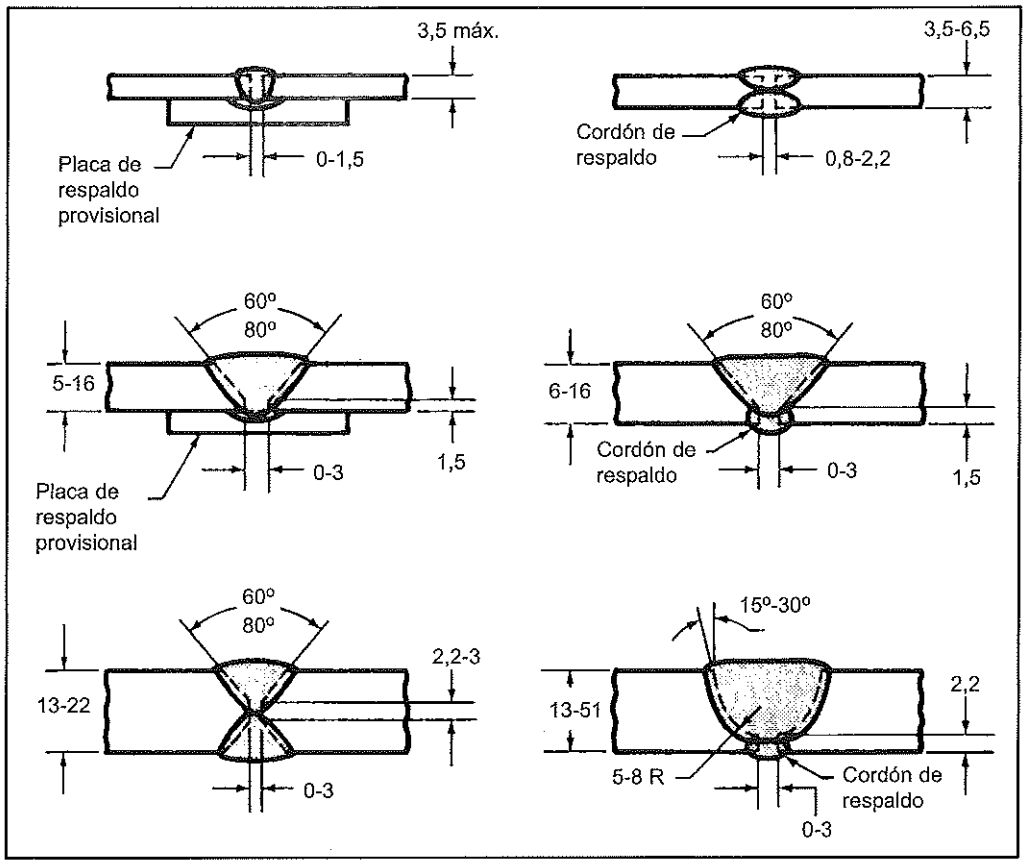


FIGURA 27.1: DISEÑO DE UNIONES A TOPE PARA EL SOLDEO DE ALEACIONES DE NÍQUEL

- **Evitar que las piezas a soldar estén tensionadas** o con embridamiento excesivo y cuando sea posible distensionar entre pasadas.
- **Emplear aportes térmicos muy bajos.** En algunas ocasiones el agrietamiento se debe a un enfriamiento excesivamente lento entre ciertos rangos de temperatura. La temperatura entre pasadas debe estar controlada, en algunas ocasiones se debe mantener por debajo de 95°C.

Los cordones deben ser rectos en lugar de oscilantes.

- **No precalentar.** No sólo no es necesario el precalentamiento, sino que no es recomendable.
- **Realizar los tratamientos posteriores al soldeo** que indique el fabricante. Algunas veces será un alivio de tensiones.

27.4. Metales de Aportación para el Soldeo por Fusión

Entre los electrodos y varillas de níquel y sus aleaciones podemos distinguir dos grandes grupos:

- Los utilizados para el soldeo de fundiciones, que son varillas y electrodos especialmente diseñados para ello y su composición química suele ser níquel o níquel-hierro. Las fundiciones (aleaciones hierro-carbono con contenidos de carbono superiores al 1,7%, ver capítulo 22) suelen ser materiales frágiles. Como se fabrican por moldeo no suelen requerir soldadura, pero se pueden formar grietas con gran facilidad y su reparación por soldeo es muy delicada, para ello se requieren metales de aportación muy dúctiles como lo son las aleaciones de níquel. No obstante, también existen otros tipos de metales de aportación para el soldeo de fundiciones.

  Muchas veces estos metales de aportación se utilizan para realizar un untado o "buttering" que se explicará más adelante.

  Todos ellos están recogidos en la especificación ANSI/AWS A5.15.

- Los utilizados para el soldeo de las siguientes aleaciones:
  - Aleaciones base níquel (inconel, monel, incoloy...).
  - Algunos aceros con 9% níquel.
  - Aleaciones cobre-níquel.
  - Piezas de materiales disimilares (aleaciones diferentes) y no compatibles, es decir que pueden formarse grietas durante su soldeo.
  - Algunos aceros inoxidables.

  Los electrodos revestidos de este tipo están identificados en la especificación ANSI/AWS A5.11 y las varillas y alambres en ANSI/AWS

A5.14, suelen estar clasificados en los siguientes grupos (se indican los componentes y sus símbolos químicos):

- Níquel (Ni).
- Níquel-Cobre (Ni-Cu).
- Níquel-Cromo-Hierro (Ni-Cr-Fe).
- Níquel-Molibdeno (Ni-Mo).
- Níquel-Cromo-Molibdeno (Ni-Cr-Mo).

Estos alambres y varillas también se utilizan para realizar un untado.

El untado es un proceso de recargue por el que se deposita una o más capas de metal de soldadura dúctil compatible con las piezas a unir y, posteriormente, se termina la unión con otro material de aportación generalmente más barato y que aporte otro tipo de características (ver figura 27.2).

Este proceso se utiliza para el soldeo de fundiciones, de materiales diferentes no compatibles y de otros materiales que presenten problemas durante su soldeo, como por ejemplo los aceros templables.

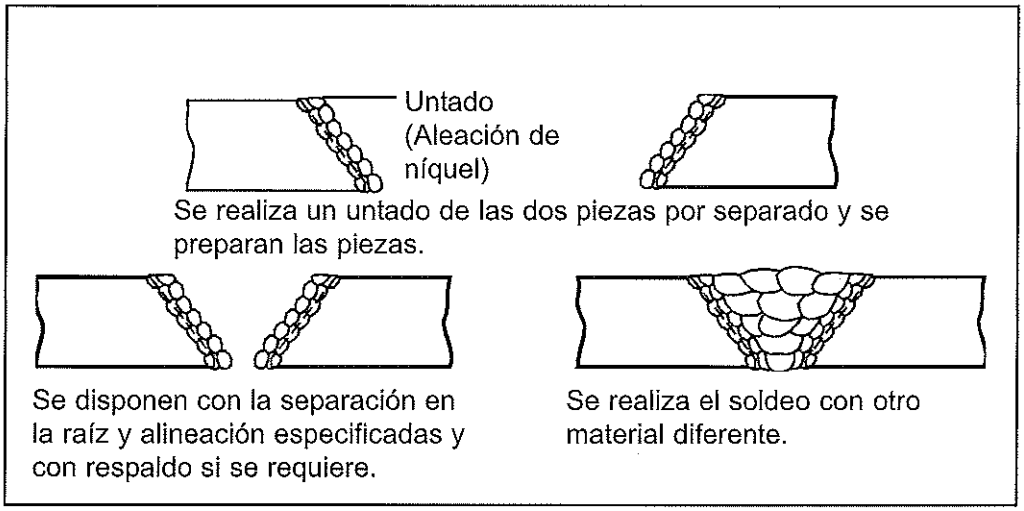

Untado
(Aleación de
níquel)
Se realiza un untado de las dos piezas por separado y se preparan las piezas.
Se disponen con la separación en la raíz y alineación especificadas y con respaldo si se requiere.
Se realiza el soldeo con otro material diferente.

FIGURA 27.2

Clasificaciones ANSI/AWS A5.11 y A5.14

Las clasificaciones ANSI/AWS A5.11 y A5.14 de los electrodos revestidos, varillas y alambres se basan en la composición química y se indican en la figura 27.3.

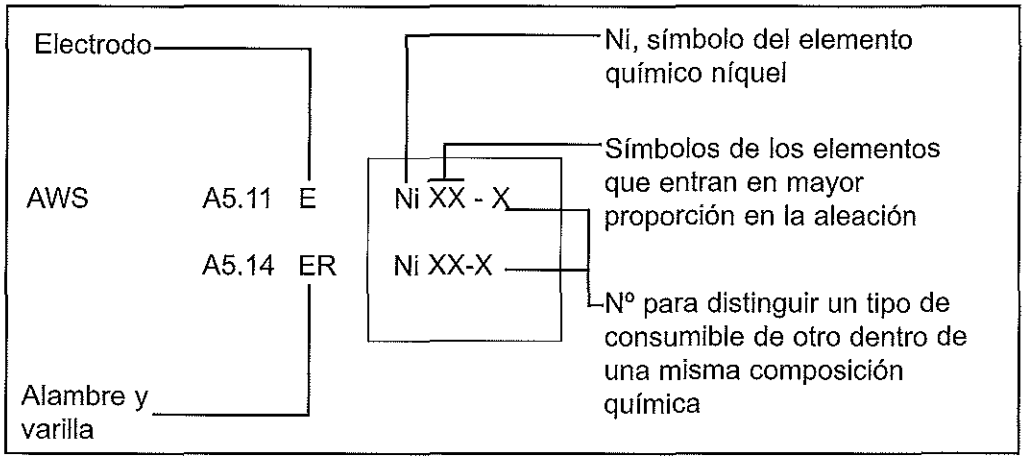

Electrodo
AWS
A5.11 E
A5.14 ER
Alambre y varilla
Ni XX - X
Ni XX-X
Ni, símbolo del elemento químico níquel
Símbolos de los elementos que entran en mayor proporción en la aleación
Nº para distinguir un tipo de consumible de otro dentro de una misma composición química

FIGURA 27.3: DESIGNACIÓN ANSI/AWS

Selección

Para el soldeo de las aleaciones de níquel se utilizan materiales de aportación de composición química similar a la del metal base.

En la tabla 27.2 se indican recomendaciones para algunas de las aleaciones de níquel.

Materiales base	Metales de aportación
Aleaciones Cupro-níquel	E Ni Cu-7 (electrodo revestido) Er Ni Cu-7 (varilla o alambre)
Aleaciones Níquel-cromo-hierro	E Ni Cr Fe-1 (electrodo revestido) Er Ni Cr Fe-5 (varilla o alambre)
Aleaciones Níquel-cromo-niobio-molibdeno	Er Ni Fe Cr-2 (varilla o alambre)
Aleaciones Níquel-cromo-hierro. Acero al 9% de Ni y uniones disimilares	E Ni Cr Fe-2 (electrodo revestido) Er Ni Cr-3 (varilla o alambre)

TABLA 27.2: ALGUNOS METALES DE APORTACIÓN RECOMENDADOS PARA DIFERENTES ALEACIONES DE NÍQUEL. ESPECIFICACIÓN DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.11 (ELECTRODOS REVESTIDOS) Y ANSI/AWS A5.14 (VARILLAS Y ALAMBRES)

27.5. Procesos de Soldeo y Corte

Las aleaciones base níquel pueden soldarse por cualquier proceso utilizado en el soldeo del acero, sin embargo no se pueden aplicar todos los procesos a todas la aleaciones (ver tabla 27.3.). En general el soldeo de las aleaciones tratables térmicamente requiere mayores cuidados.

Para el soldeo de las aleaciones de níquel, los procesos que más se emplean son el TIG, PLASMA, MIG y electrodo revestido, en el soldeo de grandes piezas algunas veces se utiliza el arco sumergido.

En general, para este tipo de aleaciones la aplicación de los procedimientos de soldeo debe ser muy rigurosa. Variables tales como el diseño de la unión, proceso a emplear, técnica de limpieza, metal de aportación y tipo de protección, deben ser definidas en cada caso, pues de lo contrario resultará muy difícil obtener una soldadura libre de porosidad, sin grietas y exenta de inclusiones.

Tipo de aleación	Designación UNS	Designación común	Proceso de soldeo			
			SMAW Electrodo Revestido	TIG, PLASMA PAW	MIG	Arco sumergido
Níque puro	N02200	Níquel 200	X	X	X	X
	N02201	Níquel 201	X	X	X	X
No endurecibles por precipitacíon	N04400	Monel 400	X	X	X	X
	N06002	Hastelloy X	X	X	X	
	N06600	Inconel 600	X	X	X	X
	N08800	Incoloy 800	X	X	X	X
Endurecibles por precipitación	N05500	Monel K-500	X	X		
	N07041	René 41		X		
	N07080	Nimonic 80A		X		
	N07718	Inconel 718		X	X	
	N07750	Inconel X-750		X		

TABLA 27.3: APLICABILIDAD DE LOS PROCESOS DE SOLDEO POR ARCO A ALGUNAS ALEACIONES DE NÍQUEL

27.5.1. Soldeo por arco con electrodos revestidos

Este proceso suele utilizarse para soldar níquel y las aleaciones no tratables térmicamente.

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Utilizar corriente continua electrodo positivo.
- Almacenar los electrodos en lugares con temperatura y humedad controlados y secarlos, según las recomendaciones del fabricante, antes de soldar.
- Como las aleaciones de níquel son muy poco fluidas, se debe depositar el metal de aportación exactamente en el lugar adecuado.
- No realizar grandes oscilaciones con el electrodo, depositar cordones rectos. Se debe recordar que una oscilación excesiva:
  - Favorece la inclusión de gases y como consecuencia la formación de poros.
  - Aumenta el aporte térmico, que en aleaciones de níquel debe estar limitado debido a la posible fragilización del metal de soldadura.

  A veces se pueden emplear oscilaciones pero siempre inferiores a 3 veces el diámetro del electrodo. En las aleaciones níquel-molibdeno y níquel-cromo-molibdeno la oscilación será inferior a 1,5 veces el diámetro del electrodo.
- Se retirará la escoria entre pasadas y después del soldeo utilizando siempre cepillos con alambre de acero inoxidable.
- Se pueden utilizar apéndices para cebar el arco, de esta forma se reduce la formación de poros.
- Se utilizará la técnica de soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 20º, de esta forma se controlará la escoria y se evita que quede atrapada en la soldadura. Con uniones en V se utilizará un ángulo de trabajo de 30º, de esta forma se obtiene buena fusión de las caras del chaflán.
- La longitud del arco será corta sobre todo cuando se suelde en vertical y bajo techo.
- En el soldeo de las aleaciones de níquel magnéticas puede haber problemas de soplo magnético, por lo que se utilizarán las técnicas recomendadas en el capítulo 3.

27.5.2. Soldeo TIG

El proceso de soldeo TIG se puede aplicar a casi todas las aleaciones base níquel, es el proceso más adecuado para el soldeo de aleaciones tratables térmicamente. Se aplicarán las siguientes recomendaciones:

- Aunque se puede realizar el soldeo sin aportación de material se recomienda el empleo de éste.
- Se utilizará argón, helio o mezclas de ambos como gas de protección. En algunos casos se añade hasta un 10% de hidrógeno pudiéndose aumentar la velocidad de soldeo.
- Es necesario el empleo de gas de respaldo, del mismo tipo que el de protección.
- En el soldeo manual se emplea corriente continua electrodo negativo CCEN.
- Después del soldeo se mantendrá el flujo de gas hasta que se enfríe el metal base.
- Se inclinará la pistola con respecto a la vertical de 0 a 35º. La longitud del arco debe ser corta ya que de esta forma se reduce la porosidad de la soldadura.

27.5.3. Soldeo MIG

Este proceso se emplea más para las aleaciones no tratables térmicamente.

Se emplea argón, helio o argón-helio como gas de protección y gas de respaldo. Se puede emplear cualquier tipo de transferencia.

Se suele recomendar el argón para la tranferencia en spray o con arco pulsado, se utilizarán adiciones del 15-20% de helio sobre todo con transferencia en cortocircuito.

El tamaño de la tobera y el caudal de gas debería ser el adecuado para proteger totalmente la soldadura. Como en el soldeo TIG, la raíz de la soldadura debe ser adecuadamente protegida.

La pistola se debe situar perpendicular o casi perpendicular al eje de la soldadura. Se utilizará una longitud de arco pequeña (6-8 mm con transferencia en spray) de forma que se minimice el número de proyecciones.

27.5.4. Soldeo por arco sumergido

El soldeo por arco sumergido no es adecuado para todas las aleaciones de níquel, pero si se podrá utilizar para el soldeo de aleaciones Monel 400 e Inconel 600. En todo caso se deberán utilizar alambres y fundentes adecuados. En toda operación de soldeo en la que se emplee fundente existe la posibilidad de que se produzcan inclusiones de escoria, este problema puede controlarse mediante el empleo de una preparación adecuada y una correcta deposición de los cordones. Los fundentes deben almacenarse en lugares con humedad y temperatura controladas y secarse antes del soldeo.

27.5.5. Soldeo oxigás

Sólo se emplea en aplicaciones que no requieren gran calidad y sólo en algunas aleaciones como Monel, Inconel 600, Hastelloy D y Nimonic 75, en otras aleaciones como las níquel-molibdeno, níquel-molibdeno-cobalto y níquel no se recomienda. Como fundente no se deberá utilizar bórax, ya que atacará el material base. En primer lugar se punteará la unión sin fundente, a continuación se aplicará el fundente en forma de pasta y se deja secar antes de comenzar a soldar, el fundente debe aplicarse también a cualquier metal de aportación que sea preciso utilizar.

El exceso de fundente no fundido se eliminará con agua caliente, el fundido se retira empleando medios mecánicos como el cepillo de alambre de acero inoxidable. Se empleará una llama ligeramente carburante. No se deberá dar un movimiento de balanceo al metal fundido cuando se realiza la unión, ya que esta agitación del metal fundido provoca porosidad en la unión.

27.5.6. Soldeo fuerte y blando

Se seguirá el procedimiento habitual teniendo en cuenta que el calentamiento debe ser uniforme, utilizando velocidades de calentamiento lentas y constantes, evitando el sobrecalentamiento. No se deben utilizar materiales de aportación que contengan fósforo, en el caso del soldeo blando suelen ser aleaciones de estaño-plomo y en el caso del soldeo fuerte serán de plata o de cobre. En el caso de utilizar cobre se debe prestar gran atención al tiempo de permanencia a temperatura que debe ser reducido, la razón es que el cobre forma fácilmente aleaciones con el níquel (por ejemplo el Monel) y si esto ocurre aumenta el punto de fusión y se dificulta el mojado en la intercara de la unión.

27.5.7. Corte térmico

El níquel y sus aleaciones no pueden cortarse por los métodos convencionales de corte oxigás, se podrán utilizar métodos especiales como el corte con fundente o polvo metálico, sin embargo la calidad no suele ser buena.

Se utilizarán métodos de corte como:

- Corte por plasma. Se suele utilizar como gas plasmágeno mezclas de nitrógeno e hidrógeno (85% nitrógeno - 15% hidrógeno), aunque en espesores mayores de 130 mm se obtiene un corte de mayor calidad con mezclas de argón + hidrógeno.
- Corte por arco aire. Se puede emplear para el corte y sobre todo para el resanado de las piezas de aleaciones de níquel, sin embargo la superficie quedará contaminada con carbono, que será perjudicial para la calidad de la soldadura, por lo que se deberá eliminar esta capa mediante amolado.
- Corte por láser o corte por haz de electrones.

Capítulo 28

Cobre y sus Aleaciones

INDICE

28.1. Propiedades del cobre 542

28.2. Aleaciones de cobre 542

28.3. Factores influyentes en la soldabilidad del cobre y sus aleaciones 543

28.4. Metales de aportación 544

28.5. Soldeo por fusión del cobre y sus aleaciones 545

28.5.1. Soldeo del cobre 546

28.5.2. Soldeo de los latones 546

28.5.3. Soldeo de los bronces 547

28.6. Soldeo fuerte y blando del cobre y sus aleaciones 547

28.1. Propiedades del Cobre

El cobre es un material metálico de color rosa salmón que en presencia de aire se oscurece dando una tonalidad rojiza. Funde a unos 1083ºC.

De entre sus propiedades físicas cabe destacar su excelente conductividad eléctrica y térmica (sólo superado por la plata) y su elevado coeficiente de dilatación.

De sus propiedades mecánicas destaca su excelente ductilidad (Alargamiento = 40-45% en estado recocido) y una resistencia mecánica de 20-22 Kg/mm^2 (en estado recocido)

Por deformación se eleva su resistencia a 35-40 Kg/mm^2, disminuyendo el alargamiento a un 6-8% y la conductividad eléctrica. Esta resistencia mecánica adquirida puede mantenerse hasta unos 100ºC, temperatura a partir de la cual empieza a producirse un ablandamiento. A bajas temperaturas las características mecánicas mejoran, incluido el alargamiento.

28.2. Aleaciones de Cobre

El cobre puro se utiliza en aplicaciones eléctricas en las que se requieren grandes conductividades, también se emplea en la industria de la construcción que aprovecha su resistencia a la corrosión para conducciones y techumbres, en diversos tipos de maquinaria y en transporte.

Sin embargo, también se utilizan las aleaciones de cobre ya que con la adición de determinados elementos se consiguen mejorar algunas de sus propiedades ampliando el número de aplicaciones. La adición de elementos de aleación suele aumentar las propiedades mecánicas y disminuir la conductividad eléctrica.

Las aleaciones de cobre más importantes son:

- Latones: aleaciones cobre-cinc
- Bronces: aleaciones cobre-estaño
- Otras aleaciones de cobre:
  - Cuproaluminios: aleaciones de cobre y aluminio, también denominados bronces de aluminio.
  - Cuprosilicios: aleaciones de cobre y silicio.

- Cuproníqueles: aleaciones de cobre y níquel.
- Cuproberilio: aleaciones de cobre con pequeñas adiciones de berilio, son las aleaciones de cobre con mayor resistencia mecánica.

Las aleaciones de cobre son muy utilizadas en la industria naval. Algunas de ellas, como los bronces, se utilizan en cojinetes, rodamientos y piezas antifricción, otras aplicaciones son tubería, cables y barras, piezas moldeadas y forjadas.

28.3. Factores Influyentes en la Soldabilidad del Cobre y sus Aleaciones

En la soldabilidad del cobre influyen fundamentalmente sus propiedades físicas (conductividad térmica y eléctrica y coeficiente de dilatación) y la presencia del oxígeno en el cobre. Se destaca lo siguiente:

Elevada conductividad térmica

El cobre tiene una gran conductividad térmica, unas siete veces la del acero a temperatura ambiente.

Esta gran conductividad incrementa las pérdidas de energía, por lo que debe aportarse mucho calor para poder fundir los bordes de las piezas a unir y, al mismo tiempo, provoca zonas afectadas térmicamente de mayor extensión. Como comparación puede decirse que se necesita, aproximadamente, una cantidad de calor para fundir el cobre cinco veces superior a la necesaria para el acero. Esto obliga normalmente a precalentar antes de soldar. En general las aleaciones de cobre tienen el mismo problema, aunque la conductividad es menor por lo que a veces no es necesario precalentar.

Elevado coeficiente de dilatación

El cobre tiene un coeficiente de dilatación muy alto, que influye en el calentamiento, en el enfriamiento y en la aparición de tensiones. Esta propiedad, unida a la importancia de la cantidad de calor que precisa para su soldeo, puede provocar la aparición de deformaciones importantes. Será necesario no embridar en exceso la pieza, seleccionar la preparación adecuada, utilizar secuencias de soldeo que disminuyan las tensiones y deformaciones y reducir el aporte térmico.

Selección del diseño de la unión

Como se ha dicho debe permitir minimizar tensiones y prevenir la aparición de grietas causadas por el elevado coeficiente de dilatación del cobre. Igualmente, la elevada fluidez del cobre hace que se utilicen placas de respaldo para evitar pérdidas de metal fundido y descolgaduras, problema que se presenta en mayor número de ocasiones que con los aceros.

Posición de soldeo

Debe soldarse siempre que sea posible en posición horizontal por su elevada fluidez. La posición en cornisa debe utilizarse, fundamentalmente, sin metal de aportación. Las posiciones vertical y bajo techo son raramente utilizadas y en las aleaciones de cobre de menor fluidez, como los cuproaluminio, cuproníqueles y cuprosilicios, se utilizan con el menor aporte térmico posible.

Condición superficial

Las superficies deben estar perfectamente limpias de grasa y óxido. Debe prestarse especial atención a aleaciones, como los cobre-aluminio y cobre-silicio, que forman una capa superficial de óxido que dificulta su soldeo.

Vaporización de elementos

Algunos de los elementos de aleación vaporizan a muy baja temperatura, entre ellos están el cinc (de los latones), el cadmio y el fósforo. Estas pérdidas pueden motivar la formación de poros además de humos que pueden ser tóxicos, se deberán realizar cordones rápidos y emplear materiales de aportación con pequeñas cantidades de estos elementos.

28.4. Metales de Aportación

Como metales de aportación se utilizan aleaciones de cobre. En la tabla 28.1 se indican las más utilizadas para los diferentes metales base.

La designación AWS de las varillas, alambres y electrodos revestidos consiste en el símbolo E de electrodo y/o R de varilla y los símbolos químicos de los elementos que forman parte de la aleación, por eso en todos aparece Cu, que es el símbolo químico del cobre.

Clasificación AWS		Metal de aportación		Metales base
Electrodo revestido[1]	Varillas y alambre[2]	Nombre común	Tipo	
ECu	ERCu	Cobre	Cobre	Cobres
ECuSi	ERCuSi-A	Cobre-Silicio	Cobre-silicio	Latones, cuprosilicios
ECuSn-A ECuSn-C	ERCuSn-A	Bronce fosforoso (cobre-estaño)	Bronce	Latones, bronces, fosforosos
ECuNi	ERCuNi	Cupro-níquel	Cobre-aluminio	Cupro-aluminio, latones, cupro-silicio
ECuAlB	ERCuAl-A1-A2-A3	Bronce-Aluminio	Cobre-aluminio	Cupro-aluminio
ECuNiAl	ERCuNiAl	Bronce-aluminio-níquel	Cobre-níquel-aluminio	Aleaciones níquel-aluminio-cobre
ECuMn-NiAl	ERCuMnNiAl	Bronce-aluminio-níquel-manganeso	Cobre-manganeso-níquel	Cuproníqueles con aluminio y manganeso

(1) Especificación AWS A5.6 para electrodos revestidos de cobre y aleaciones de cobre.

(2) Especificaciones AWS A5.7 Varillas y alambres de cobre y sus aleaciones.

TABLA 28.1: METALES DE APORTE PARA SOLDEO POR FUSIÓN DE ALEACIONES DE COBRE

28.5. Soldeo por Fusión del Cobre y sus Aleaciones

Los procesos de soldeo por fusión más utilizados son el TIG, MIG, electrodos revestidos y oxigás. El soldeo por resistencia no es muy utilizado dada la elevada conductividad del cobre.

28.5.1. Soldeo del cobre

El mayor problema que se puede tener en el soldeo por fusión del cobre es la absorción del oxígeno del aire o la presencia de éste en la soldadura. Por esta razón, lo cobres no desoxidados no se pueden soldar por procesos de fusión, ya que se fragiliza el cordón de soldadura con aparición de grietas, se tendrán que soldar mediante procesos de soldeo en estado sólido, como fricción, o por un proceso apropiado de soldeo fuerte.

En el soldeo por fusión de los cobres desoxidados se debe evitar realizar cordones con oscilación, porque durante el balanceo se absorbe gran cantidad de oxígeno. Los cordones serán rectos o con muy ligeras oscilaciones.

Los procesos de soldeo más utilizados son el TIG, utilizando argón o argón + helio como protección, el MIG, también con argón o argón + helio, el electrodo revestido y el arco-plasma. El soldeo oxigás se puede utilizar, pero no se recomienda porque se deforman más las piezas y suele ser necesario realizar un martillado de cada cordón de soldadura para reducir la deformación.

28.5.2. Soldeo de los latones

El mayor problema que se presenta es la vaporización del cinc. El cinc es un metal que funde y vaporiza a muy bajas temperaturas y el calor del arco de soldeo, o de la fuente de calor utilizada para soldar, no sólo fundirá el cinc, sino que lo vaporiza saliendo del baño de fusión en forma de vapores que producen fiebre metálica aunque se eliminarían sin producir otros efectos (ver capítulo 7).

Además, la vaporización del cinc favorece la formación de poros en las soldaduras.

Para reducir los efectos perjudiciales durante el soldeo se recomienda:

- Utilizar metales de aportación que no contengan cinc, ver tabla 28.1. En el soldeo oxigás se utilizan metales de aportación de latón, pero con contenido en cinc inferiores a los del metal base.
- Dirigir el calor del arco preferentemente hacia la varilla en lugar de hacia el metal base para reducir la cantidad de cinc vaporizado, ya que como se ha dicho el contenido de cinc del metal de aportación es inferior al del metal base.

Para reducir las pérdidas de calor por la gran conductividad térmica del material se **precalentará** la pieza de 95ºC a 320ºC, los latones de alto contenido en cinc no es preciso precalentarlos.

Los procesos de soldeo utilizados serán TIG y MIG utilizando argón o argón + helio como protección, o electrodos revestidos. El soldeo oxigás es bastante utilizado en el soldeo de tubería regulando la llama de forma que sea oxidante.

28.5.3. Soldeo de los bronces

Los bronces, aleaciones cobre estaño, también se denominan bronces fosforosos porque tienen un contenido muy pequeño de fósforo que actúa como desoxidante.

El problema más importante durante el soldeo de estas aleaciones es la facilidad de formación de grietas, para disminuir esta tendencia y otros problemas que puedan encontrarse, se recomienda:

- Realizar un martillado de cada cordón de soldadura cuando todavía está caliente, de esta forma se reducen las tensiones internas y las deformaciones.
- El soldeo debe realizarse a la mayor velocidad que permita una buena fusión y con cordones rectos.
- El baño de fusión debe ser pequeño, por lo que se utilizarán bajas intensidades de soldeo.
- Como el baño de fusión es muy poco fluido es necesario en muchos casos precalentar a unos 200ºC. Cuando se suelda con MIG con transferencia en spray no es necesario precalentar.
- Si posteriormente al soldeo se realiza un tratamiento térmico a unos 480ºC con enfriamiento rápido se mejora la ductilidad.

El soldeo se realizará por los procesos TIG, MIG o electrodo revestido, no recomendándose el soldeo oxigás.

28.6. Soldeo Fuerte y Blando del Cobre y sus Aleaciones

Soldeo fuerte

La mayoría de los cobres y sus aleaciones comerciales pueden ser soldados satisfactoriamente mediante alguno de los procesos convencionales de soldeo fuerte.

El soldeo fuerte del cobre y sus aleaciones presenta la gran ventaja, frente a los

procesos de soldeo por fusión, de reducir deformaciones y evitar los inconvenientes de los cobres que contienen oxígeno. Esta ventaja, que es tanto más acusada cuanto menor sea la temperatura de trabajo, igualmente conlleva menor peligro de volatilización de elementos y menores deformaciones.

A continuación se expondrán algunas precauciones específicas que deben tenerse en cuenta en algunas aleaciones:

Soldeo fuerte de cobres

En cobres no desoxidados debe vigilarse la presencia de hidrógeno en la atmósfera, puesto que el hidrógeno y el oxígeno forman vapor de agua que es causa de fragilidad, se recomienda el soldeo de estos cobres en horno con atmósfera inerte o con soplete utilizando llama neutra o ligeramente oxidante.

Soldeo fuerte de los latones

Los latones de elevado contenido en cinc (20-40%) deben ser soldados con un metal de aportación que tenga el más bajo punto de fusión posible, para evitar la pérdida del cinc por volatilización.

Metales de aportación para el soldeo fuerte

Se utilizan las aleaciones de plata (BAg), aleaciones de oro (BAu), los cobres fosforosos (BCuP) y aleaciones cobre-cinc (RBCuZn). Los metales de aporte BAg se utilizan con todas las aleaciones de cobre, los BAu para aplicaciones electrónicas, los BCuP se utilizan con todas las aleaciones de cobre incluyendo algunas aleaciones cobre-níquel, los BCuP no se recomiendan para el soldeo fuerte de aleaciones Cu-Be. Los RBCuZn se utilizan para el soldeo de aleaciones cobre-níquel, cobre-silicio y cobre-estaño.

Las designaciones anteriores son las de la especificación AWS A5.8 "Metales de aporte para soldeo fuerte y cobresoldeo".

Fundentes para el soldeo fuerte

Se utilizan fundentes 3A y 3B (según AWS A5.31) cuando se utilizan como metales de aporte BAg y BCuP para cualquier metal base, excepto aleaciones de aluminio para los que se necesitan fundentes más reactivos como el tipo 4. Cuando se utiliza ERCuZn como metal de aporte se puede utilizar el fundente tipo 5, con los que se puede trabajar a mayores temperaturas.

Es necesario realizar una buena limpieza de la unión, siendo necesario muchas veces el decapado químico (ácido sulfúrico para cobres y latones).

Soldeo blando

Los cobres comerciales y sus aleaciones pueden ser perfectamente unidos por soldeo blando con la mayoría de las varillas de aportación normales de estaño-plomo, si se ha seguido una técnica correcta en cuanto a limpieza y preparación superficial, decapante adecuado y calentamiento correcto. Los decapantes suelen ser de cloruro de cinc, ácido láctico (25%) y resinas vegetales en solución alcohólica.

Capítulo 29

Titanio y sus Aleaciones

INDICE

29.1. Propiedades del titanio 552

29.2. Aleaciones de titanio y su soldabilidad 553

29.3. Procesos de soldeo 554

29.4. Soldeo por arco 554

29.4.1. Preparación y diseño de la unión 554

29.4.2. Limpieza y decapado 555

29.4.3. Metales de aportación 555

29.4.4. Gas de protección 556

29.4.5. Precalentamiento y tratamiento térmico postsoldeo 559

29.4.6. Control de la calidad de la soldadura por su aspecto 560

29.4.7. Soldeo TIG 560

29.4.8. Soldeo MIG 561

29.5. Soldeo fuerte 561

29.1. Propiedades del Titanio

Entre las propiedades del titanio y sus aleaciones cabe destacar:

- Baja densidad, el titanio es un metal más pesado que el aluminio y que el magnesio, sin embargo es mucho más ligero que el acero y que el cobre.
- El titanio puro presenta buenas propiedades mecánicas, que pueden ser aumentadas en gran medida mediante aleación con otros metales (especialmente aluminio y vanadio) y tratamiento térmico, teniendo en este caso alta resistencia mecánica sin perder su ductilidad.
- Alta temperatura de fusión (1.668ºC).
- El titanio y algunas de sus aleaciones tienen buena resistencia, ductilidad y tenacidad a bajas temperaturas (-240ºC).
- Baja conductividad térmica y bajo coeficiente de dilatación. Estas propiedades permitirán realizar soldaduras sin que se presenten grandes deformaciones ni tensiones residuales en las piezas.
- Baja conductividad eléctrica.
- La resistencia a la oxidación y a la corrosión a temperatura ambiente son excelentes, similares o incluso, en algunas circunstancias superiores, a la de los aceros inoxidables. El titanio tiene gran afinidad por el oxígeno y forma una capa de óxido superficial que lo protege de la corrosión.
- A temperaturas por encima de los 600ºC su resistencia a la corrosión desaparece, a estas temperaturas absorbe oxígeno, hidrógeno y nitrógeno de la atmósfera por lo que se debe proteger del aire para evitar su contaminación.
- El titanio líquido reacciona rápidamente con todos los elementos formando compuestos que constituirán una impureza para el material.

  Estas dos últimas características hacen que la protección de la soldadura y de las zonas calientes de la pieza sea absolutamente imprescindible, mucho más exhaustiva que en el soldeo de la mayoría de los materiales. Por la misma razón, la limpieza previa al soldeo debe ser meticulosa.
- Otra característica importante del titanio es su elevado precio, que limita el número de aplicaciones de este metal y de sus aleaciones.

El titanio y sus aleaciones se suelen emplear en la industria del transporte, sobre todo aeroespacial. Muchas piezas de los motores y del fuselaje de los aviones se fabrican en aleación de titanio, ya que tienen alta resistencia con bajo peso. Otra

gran aplicación de las aleaciones de titanio se encuentra en la industria química por su buena resistencia a la corrosión.

29.2. Aleaciones de Titanio y su Soldabilidad

El titanio suele alearse con aluminio, vanadio, molibdeno, hierro, níquel y otros elementos, todos ellos generalmente en pequeñas proporciones.

Las aleaciones de titanio se clasifican en grupos en función de la estructura, denominándose con los mismos nombres de las letras griegas con los que se conocen las fases que se observan. De este modo se distinguen los siguientes grupos:

- Aleaciones alfa (α)
- Aleaciones alfa - beta ($\alpha + \beta$)
- Aleaciones beta (β)

La denominación más común de las aleaciones de titanio indica el porcentaje de los elementos de aleación junto a su símbolo químico. En la tabla 29.1 se indican algunas de las aleaciones de titanio clasificadas en sus grupos. De todas estas aleaciones destaca por su amplia utilización la aleación Ti6Al4V, que contiene 6% de aluminio y 4% de vanadio y es una aleación $\alpha + \beta$. También es muy utilizada la aleación Ti-5Al-2,5 Sn, que contienen 5% de aluminio y un 2,5% de estaño y es una aleación alfa. No se debe olvidar que el titanio puro es también muy empleado.

En la tabla 29.1 también se ha indicado la soldabilidad de las diferentes aleaciones de titanio.

Las aleaciones de titanio de grados ELI (ver tabla 29.1) tienen contenidos inferiores de determinados elementos como el carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno que las aleaciones similares convencionales, de esta forma se mejora su soldabilidad y resistencia a la corrosión en determinados ambientes.

Las aleaciones Ti-7Al-4Mo y la Ti-6Al-6V-2Sn se consideran de soldabilidad limitada, porque tienen tendencia a agrietarse durante su soldeo cuando se generan grandes tensiones debidas al embridamiento de la pieza. No se recomienda el soldeo de la aleación Ti-8Mn porque se forman grietas con gran facilidad, inclusive en condiciones de embridamiento bajas.

Tipo de aleación	Ejemplos	Soldabilidad
Titanio puro	Ti	Excelente
Aleaciones alfa (α)	Ti - 5 Al - 2,5 Sn	Admisible o buena
	Ti - 5 Al - 2,5 Sn (ELI)	Excelente
Aleaciones alfa-beta ($\alpha + \beta$)	Ti - 6 Al - 4 V	Admisible
	Ti - 6 Al - 4 V (ELI)	Excelente
	Ti - 7 Al - 4 Mo	Limitada a aplicaciones especiales
	Ti - 6 Al - 6V - 2 Sn	Limitada a aplicaciones especiales
	Ti - 8 Mn	No se recomienda su soldeo
Aleaciones beta (β)	Ti - 13 V - 11 Cr - 3 Al	Admisible

TABLA 29.1: ALEACIONES DE TITANIO MÁS COMUNES

29.3. Procesos de Soldeo

El titanio se puede soldar por resistencia, por láser, haz de electrones y mediante procesos de soldeo en estado sólido, además de mediante soldeo fuerte y soldeo por arco. Los procesos de soldeo por arco empleados son el TIG, MIG y arco-plasma.

El soldeo con alambre tubular, por arco sumergido y con electrodos revestidos no se utiliza porque la atmósfera protectora no es adecuada para el titanio y por las reacciones que se producen entre la escoria y el metal fundido.

29.4. Soldeo por Arco

29.4.1. Preparación y diseño de la unión

Las piezas a soldar deben prepararse mediante sierra, fresado, amolado o torneado, pero siempre teniendo cuidado para no contaminar el metal base, además

no se deberá sobrecalentar las piezas. Se utilizarán muelas limpias que sólo se destinen a piezas de titanio.

La disposición de las piezas para realizar el soldeo debe ser muy cuidadosa permitiendo que el gas de respaldo llegue a la raíz de la soldadura.

El punteado se debe realizar con los mismos parámetros y gases (incluyendo gas de respaldo) que se van a utilizar en el soldeo.

Corte térmico

El titanio se puede oxicortar a mayor velocidad que el acero, sin embargo se debe limpiar perfectamente las caras oxicortadas antes de soldar, retirando de 0,2 a 2 mm de profundidad.

29.4.2. Limpieza y decapado

El óxido que recubre las piezas de titanio se hace más protector, grueso e impermeable a medida que aumenta la temperatura de la pieza, siempre que la temperatura sea inferior a 600ºC. Cuando la pieza haya permanecido a alta temperatura se deberá dacapar antes del soldeo, para ello se utilizará una disolución de ácido nítrico (30-40%), ácido fluorhídrico (4-5%) y agua durante 2-20 minutos, posteriormente se limpia la pieza en agua o alcohol y se seca. El decapante mencionado contiene sustancias peligrosas por lo que debe emplearse con cuidado.

En el caso de que el óxido formado sea muy grueso se utilizarán medios mecánicos para retirarlo, posteriormente se decapará químicamente como se ha indicado.

Sin embargo, las piezas a soldar no suelen sufrir calentamientos a altas temperaturas antes de su soldeo, por lo que no tendrán estas gruesas capas de óxido. En este caso es suficiente con desengrasar las piezas mediante disolventes adecuados, en algunos casos se utiliza acetona o alcohol. También se cepillan las piezas empleando siempre cepillos de alambre de acero inoxidable y nunca se debe utilizar disolventes que contengan cloro. Después de limpiar ambas caras de las piezas se envolverán en trapos limpios y se manejarán con guantes blancos, ya que incluso las huellas dactilares pueden favorecer la contaminación del metal.

El metal de aportación debe estar limpio y brillante. También se limpiará con acetona o alcohol y se secará con una tela que no deje pelusa. Una vez que se ha extraído una varilla de su paquete no debe devolverse a él.

29.4.3. Metales de aportación

En general, el metal de aportación será del mismo tipo y composición química

que el metal base, sin embargo a veces se utilizan metales de aportación de titanio puro en el soldeo de las aleaciones de titanio porque se consigue mayor ductilidad.

Es muy importante utilizar metales de aportación de gran calidad y perfectamente limpios (esto es importante en el soldeo de cualquier metal pero en el titanio es absolutamente imprescindible).

El metal de aportación puede favorecer la inclusión de contaminantes procedentes del polvo, suciedad o grasa y las imperfecciones (muescas o grietas) pueden impedir la correcta limpieza del metal de aportación, que producirá la contaminación del metal de soldadura y la aparición de poros.

Las varillas y alambres serán inspeccionadas para detectar defectos, limpiados y utilizados de forma adecuada y estarán siempre empaquetados y almacenados de forma correcta.

La especificación más utilizada para los metales de aportación es la A5.16 de la AWS.

29.4.4. Gas de protección

Como gases de protección se utilizan exclusivamente los inertes, es decir argón y helio o sus mezclas.

El soldeo de las piezas de titanio puede realizarse dentro de cámaras llenas de gas inerte, esta solución sólo se utiliza cuando el diseño de la pieza no permite asegurar la atmósfera inerte adecuada.

Sin embargo, en la mayoría de los casos se suelda fuera de cámaras y se tiene que disponer de los accesorios adecuados que permitan:

1. Proteger el baño de fusión, encargándose de esta función el gas suministrado por la tobera (ver figura 29.1). Se deberá seleccionar el máximo diámetro de tobera que permita buena accesibilidad y visibilidad de la unión, los diámetros suelen oscilar entre 13 y 19 mm y puede ser muy conveniente disponer de un laminador de flujo de gas para evitar turbulencias del gas de protección.

2. Proteger el metal de soldadura y la zona afectada térmicamente mientras se enfría hasta una temperatura en la que la oxidación no sea un problema, es decir hasta unos 600ºC. Como la conductividad del titanio es baja se deberá proteger una longitud grande, mucho mayor que la que puede proteger la tobera durante el soldeo.

   El método más empleado es una cámara remolcada que se acopla a la tobera y suministra el gas a través de un difusor poroso (ver figura 29.1).

La longitud y anchura de la cámara será mayor cuanto mayor sea el aporte térmico y la velocidad de desplazamiento.

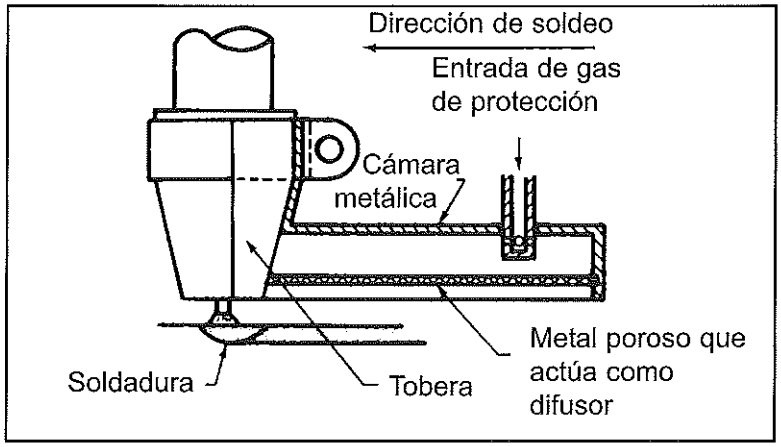


FIGURA 29.1: CÁMARA REMOLCADA PARA SOLDEO DE TITANIO

Otro método consiste en incorporar salidas de gas a los sistemas de sujeción de las piezas (ver figura 29.2). En el caso de soldaduras cirunferenciales con tubería rotando se puede disponer de una protección como la indicada en la figura 29.3.

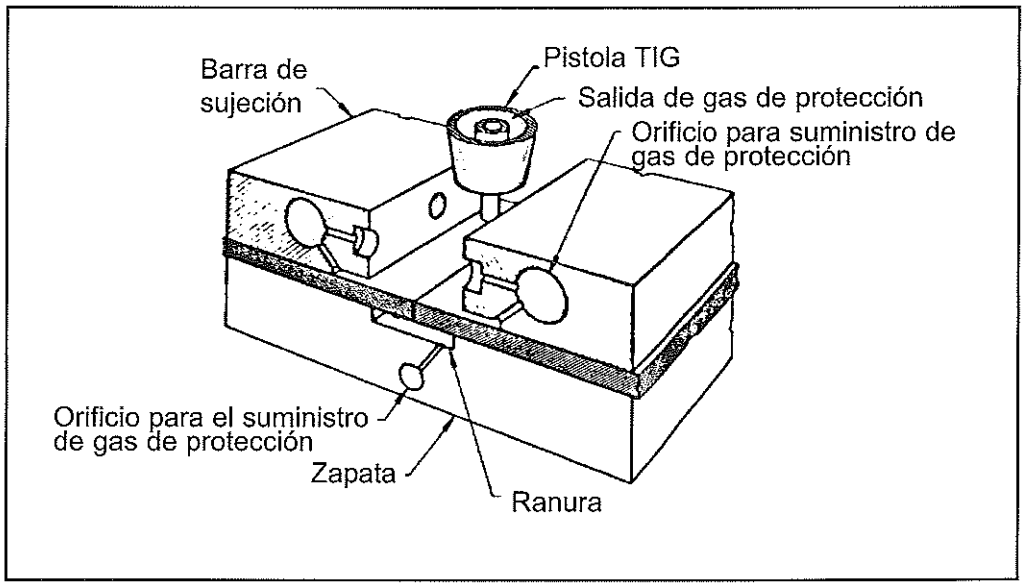


FIGURA 29.2: SISTEMA DE SUJECIÓN DE PIEZAS CON SUMINISTRO DE GAS DE PROTECCIÓN

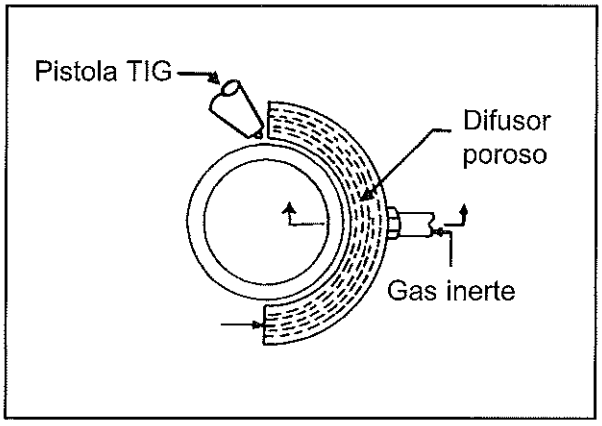


FIGURA 29.3: PROTECCIÓN ADICIONAL PARA SOLDEO CIRCUNFERENCIAL CON TUBERÍA ROTANTE

3. Proteger la raíz de la soldadura durante el soldeo, para ello se utilizará el gas de respaldo suministrado por anillos, zapatas de respaldo (ver figura 29.4 y figuras del apartado 11.3) o incorporar salidas de gas en los sistemas de fijación de las piezas. El tamaño de la ranura de salida de gas depende, entre otras cosas, del espesor de las piezas indicándose en la tabla 29.2 las dimensiones recomendadas.

   En el caso de tuberías, éstas se deberán purgar como se indica en el apartado 11.3.

Espesor de las piezas (mm)	Anchura de la ranura (mm)	Profundidad de la ranura (mm)
Menor de 1	3	1
1 - 2	5	1
2 - 3	6	1
3 - 6	8	1,5

TABLA 29.2: DIMENSIONES DE LA RANURA EN ZAPATAS DE RESPALDO

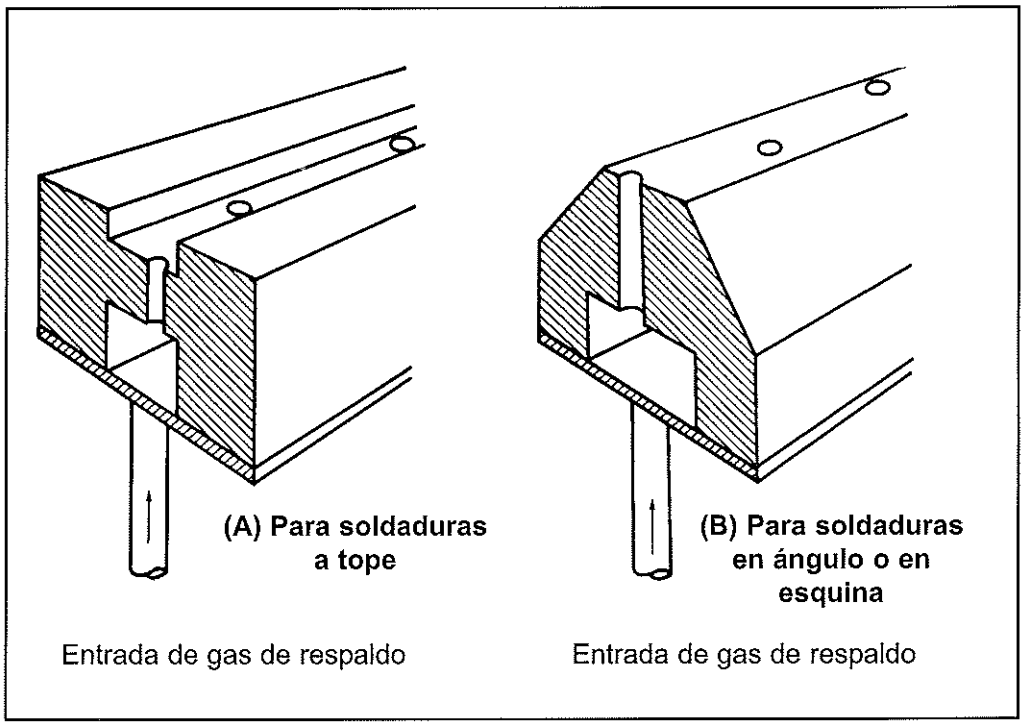


FIGURA 29.4: ZAPATAS DE RESPALDO PARA SUMINISTRO DE GAS

29.4.5. Precalentamiento y tratamiento térmico postsoldeo

No es necesario precalentar, ni tampoco se recomienda aunque se puede dar un ligero precalentamiento para eliminar la posible humedad existente en la superficie. El precalentemiento y la temperatura entre pasadas no debe superar los 125ºC, si la temperatura fuera superior la pieza estaría excesivamente caliente y la protección gaseosa no sería adecuada. Cualquier exposición al aire de una pieza de titanio a temperaturas superiores a 125ºC producirá una película de óxido que se tendrá que eliminar con un cepillo de alambre de acero inoxidable, dedicado exclusivamente al trabajo con titanio.

A veces se requiere realizar un tratamiento térmico postsoldeo para aliviar las tensiones que se puede realizar mediante calentamiento a 590ºC, permaneciendo a esta temperatura durante 30 minutos a 1 hora y enfriamiento lento, el tratamiento se realiza a veces sin atmósfera protectora, pero cuando se utiliza deberá ser de gas inerte. A estas temperaturas se producirán manchas y óxidos que se retirarán como se ha indicado en el apartado 29.4.2.

29.4.6. Control de la calidad de la soldadura por su aspecto

La apariencia de la soldadura en cuanto a su color indica de forma bastante clara si la soldadura está contaminada. Entre pasadas se observará el color de la soldadura, si es plateada se podrá continuar soldando y si tiene óxidos azules se retirarán por cepillado, pero si tiene color oscuro, o aparecen óxidos amarillos o grises, se deberá retirar el cordón, limpiar y volver a soldar mejorando la protección. En la tabla 29.3 se indica el significado del color de la soldadura.

Color del cordón de soldadura de titanio	Significado	Protección	Acción
Plateado	Soldadura generalmente buena	Buena	
Paja a azul muy claro	Soldadura aceptable	Aceptable	Se deberá cepillar con cepillo de alambre de acero inoxidable antes de realizar otra pasada.
Azul o púrpura	Soldadura de mala calidad	Mala	Retirar completamente la soldadura y el metal adyacente y mejorar la protección (aumentar el caudal de gas, la longitud de remolque o disminuir la longitud del arco antes de volver a soldar).
Polvo gris o amarillo	Soldadura de bajísima calidad	Extema-damente mala	Retirar completamente la soldadura y la zona afectada térmicamente. Examinar el equipo de protección en busca de fugas y realizar un ensayo del gas de protección antes de volver a soldar.

TABLA 29.3: SIGNIFICADO DEL COLOR DEL CORDÓN DE SOLDADURA DE TITANIO

29.4.7. Soldeo TIG

Es el proceso de soldeo más utilizado, sobre todo para espesores inferiores a 3-6 mm. Se suelda con corriente continua electrodo negativo, por lo que se utilizarán electrodos de volframio-torio.

El extremo del electrodo puede sobresalir de la tobera en unos 4-6 mm e incluso

25 mm, sin embargo en el soldeo del titanio se debe prestar más atención a esta longitud que se limitará siempre al mínimo posible. La longitud del arco también debe ser la mínima posible. Como ocurre en el soldeo de cualquier material, si se toca con el electrodo el baño de fusión hay que retirar la zona de soldadura contaminada, limpiando y volviendo a afilar el electrodo.

Para reducir al mínimo la posible contaminación del baño se recomienda el empleo de postflujo y preflujo de gas de protección. No se cebará el arco por raspado, se utilizarán placas auxiliares o, a ser posible, cebado con una corriente de alta frecuencia.

29.4.8. Soldeo MIG

El proceso MIG se utilizará para el soldeo de mayores espesores. Como el aporte térmico de este proceso de soldeo es mayor que con el TIG, es necesario utilizar mayor caudal del gas de protección, así como mayor longitud de la cámara remolcada, ésta será mayor también cuando la transferencia sea con spray que con arco pulsado o por cortocircuito.

Las bobinas de metal de aportación deben almacenarse en lugares limpios y deben estar totalmente cubiertas mientras se suelda.

29.5. Soldeo Fuerte

Las piezas de titanio se pueden unir mediante soldeo fuerte sin que se produzca una disminución de alguna de las propiedades del titanio. Los procesos más utilizados son soldeo fuerte por inducción y soldeo fuerte en horno, también se puede realizar con soplete pero se necesita un fundente especial y gran habilidad por parte del soldador, se utilizará llama oxiacetilénica ligeramente reductora debiéndose retirar completamente los restos de fundente después del soldeo. Como metales de aportación se utilizan, entre otros, aleaciones de plata (95Ag - 5Al ó 92,5Ag - 75Cu) y aleaciones de titanio (48Ti - 48Zr - 4Be).

Capítulo 30

Imperfecciones de las Uniones Soldadas

INDICE

30.1. Introducción 565

30.2. Grietas 566

30.3. Cavidades 568

30.4. Inclusiones sólidas 570

30.5. Falta de fusión y de penetración 571

30.5.1. Falta de fusión 571

30.5.2. Falta de penetración 572

30.6. Imperfecciones de forma y dimensión 573

30.6.1. Mordedura 573

30.6.2. Solapamiento 574

30.6.3. Sobreespesor excesivo 574

30.6.4. Exceso de penetración 575

30.6.5. Ángulo de sobreespesor incorrecto 576

30.6.6. Falta de alineación o deformación angular 576

30.6.7. Falta de metal de soldadura.....576
30.6.8. Perforación.....577
30.6.9. Rechupe.....577
30.6.10. Exceso de asimetría en la soldadura en ángulo.....578
30.6.11. Anchura irregular y superficie irregular.....578
30.6.12. Empalme defectuoso.....578
30.7. Otras imperfecciones.....579
30.7.1. Cebado de arco.....579
30.7.2. Salpicaduras o proyecciones.....579
30.7.3. Desgarre local.....579
30.7.4. Marca de amolado o de burilado.....579
30.7.5. Amolado excesivo.....579
30.8. Consecuencias de las imperfecciones de las soldaduras.....580

30.1. Introducción

Las **imperfecciones** son anomalías o irregularidades que se presentan en la unión soldada.

Se consideran como **defecto** cuando por su magnitud o localización puedan provocar el **fallo** de la unión.

Este capítulo va a estar destinado exclusivamente a las imperfecciones de las soldaduras efectuadas mediante procesos de soldeo por fusión.

Las causas que pueden originar estas imperfecciones son, entre otras, una inadecuada:

- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura.
- Soldabilidad del metal base.
- Elección de los consumibles (gases, metal de aporte...).

Los principales defectos que se producen en el soldeo por fusión están clasificados en la norma UNE-EN ISO 6520-1 en los siguientes grupos:

1. Grietas.
2. Cavidades.
3. Inclusiones sólidas, (escoria, óxidos, inclusiones de volframio o de cobre...)
4. Falta de fusión y de penetración.
5. Imperfecciones de forma y dimensión.
6. Otras imperfecciones.

Una soldadura con imperfecciones puede cumplir o no una norma, es decir, podrá ser aceptada o ser rechazada. Se aceptará si las dimensiones de sus defectos están por debajo de lo establecido en la norma aplicable en función del nivel de calidad considerado.

Las dimensiones máximas aceptables de las imperfecciones están recogidas en las normas UNE EN ISO 5817:2004, en el caso de los aceros, y en la UNE-EN ISO 10042 en el caso del aluminio y sus aleaciones soldables. Estas normas establecen tres niveles de calidad, de moderado a elevado, de forma que cuanto mayor sea el nivel de calidad las imperfecciones admitidas serán de menores dimensiones. Los

niveles de calidad, en cada caso, deberán ser definidos por la norma de aplicación (norma de diseño) o por la persona responsable junto con el fabricante, usuario o cualquier otra persona involucrada. El nivel de calidad debe ser especificado antes del comienzo de la producción.

Las dimensiones de las imperfecciones en estas normas se establecen en función del espesor de las piezas, de la garganta de las soldaduras en ángulo o de alguna dimensión de la soldadura como su anchura o la profundidad, de forma que las imperfecciones pueden ser mayores cuanto mayores sean estas dimensiones, pero existiendo en cualquier caso un máximo para cada imperfección de forma que aunque el espesor de las piezas sea muy elevado no se pueda superar este valor. En este capítulo se indicarán, de forma aproximada, los límites de las imperfecciones permitidos; señalando en muchas ocasiones únicamente el valor máximo admisible para que sirva de guía durante el soldeo.

Para la cualificación de soldadores (según la norma UNE-EN 287) se exige el nivel más alto: el nivel elevado o nivel B; excepto para algunas imperfecciones de forma que se admite el nivel intermedio o nivel C.

La elección del nivel de calidad para cualquier aplicación debe tener en cuenta las consideraciones de diseño, estados tensionales, condiciones de servicio y consecuencias del fallo. También influyen los factores económicos.

30.2. Grietas

Son el efecto de una rotura local incompleta.

Ningún código de diseño admite este tipo de defecto, ya que cuando la construcción soldada se someta a la carga para la que ha sido diseñada la grieta crecerá y provocará su rotura catastrófica.

Las grietas pueden estar localizadas en (ver figura 30.1):

- El metal base.
- La zona afectada térmicamente.
- La zona de unión entre zona afectada térmicamente y cordón de soldadura, es decir en el acuerdo de la soldadura.
- El cordón de soldadura.
- El cráter de soldadura.

Pueden ser paralelas al cordón de soldadura, denominándose longitudinales, o pueden ser perpendiculares a éste, denominándose transversales. También pueden aparecer en grupo en forma de estrella, ver figura 30.1.

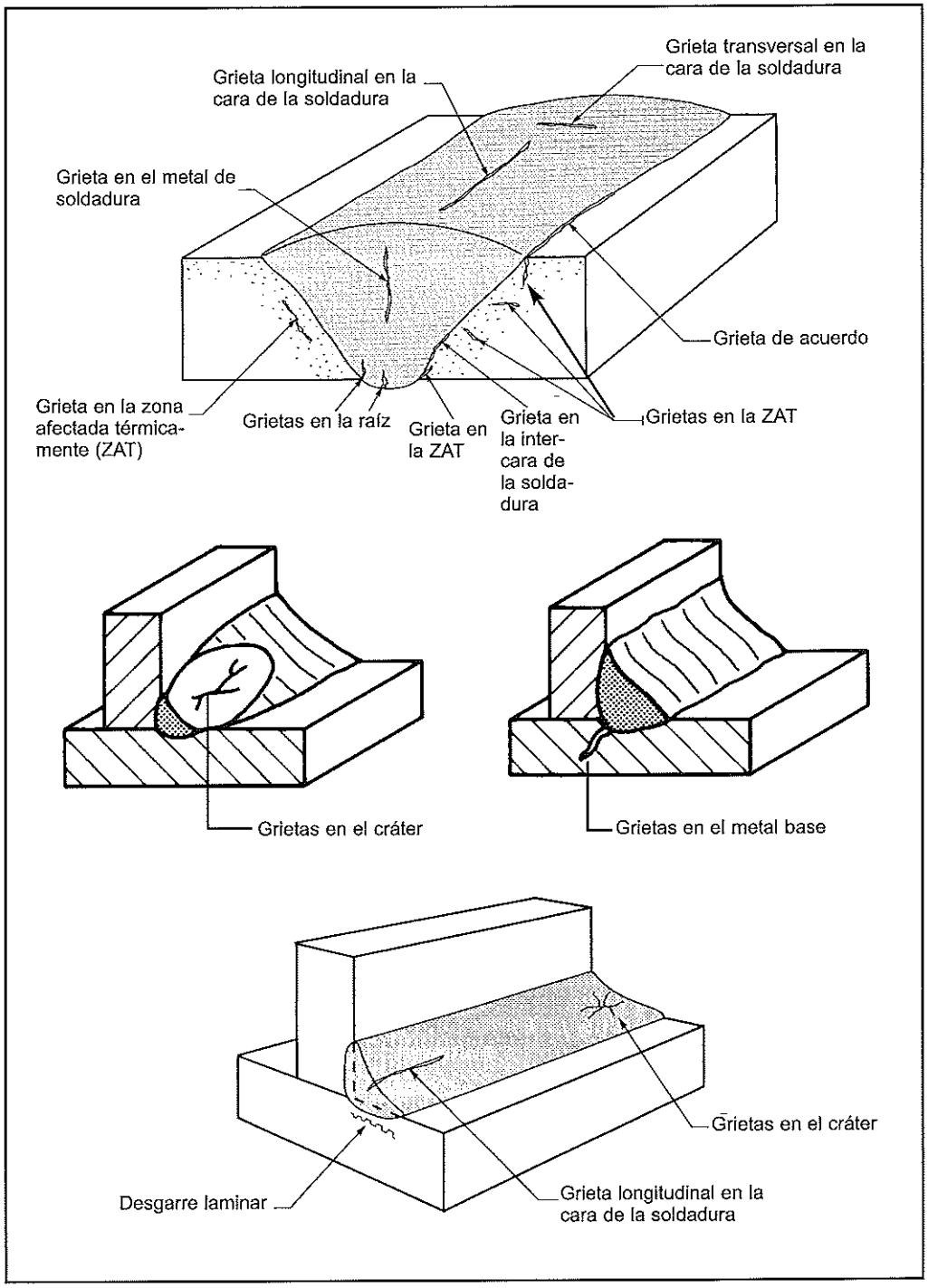

Grieta transversal en la cara de la soldadura
Grieta longitudinal en la cara de la soldadura
Grieta en el metal de soldadura
Grieta de acuerdo
Grieta en la zona afectada térmicamente (ZAT)
Grietas en la raíz
Grieta en la ZAT
Grieta en la intercara de la soldadura
Grietas en la ZAT
Grietas en el cráter
Grietas en el metal base
Grietas en el cráter
Grieta longitudinal en la cara de la soldadura
Desgarre laminar

FIGURA 30.1: GRIETAS EN LAS SOLDADURAS

Las causas de las grietas pueden ser:

- Soldar con excesiva intensidad.
- Enfriamiento rápido de la soldadura.
- Soldar con un embridamiento excesivo.
- Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.
- Mala secuencia de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones.
- Inadecuado e insuficiente material de aportación (electrodos, varillas, alambres o gases de protección).
- Metal base de mala soldabilidad.
- Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca. En este caso se formarán grietas de cráter.

30.3. Cavidades

Las sopladuras son cavidades formadas por inclusiones gaseosas (ver figura 30.2).

Se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Sopladuras de forma esférica que también se denominan **poros**.
- **Sopladuras vermiculares**, es decir con forma de gusano que se forman al escapar el gas cuando existe una alimentación continua de éste y la velocidad de solidificación es muy rápida.

Las sopladuras y poros pueden disponerse de forma aislada, alineados o agrupados, siendo siempre menos perjudiciales los primeros que los agrupados o alineados. También pueden ser superficiales, es decir abiertos a la superficie y por tanto visibles (ver figura 30.3).

Si el cordón de soldadura presenta una ligera porosidad puede no representar en la realidad un defecto grave, sobre todo si tienen forma esférica. Se permiten, por tanto, poros y sopladuras en los códigos de construcción o en las normas de calidad, limitándose sus dimensiones en función del nivel de calidad requerido.

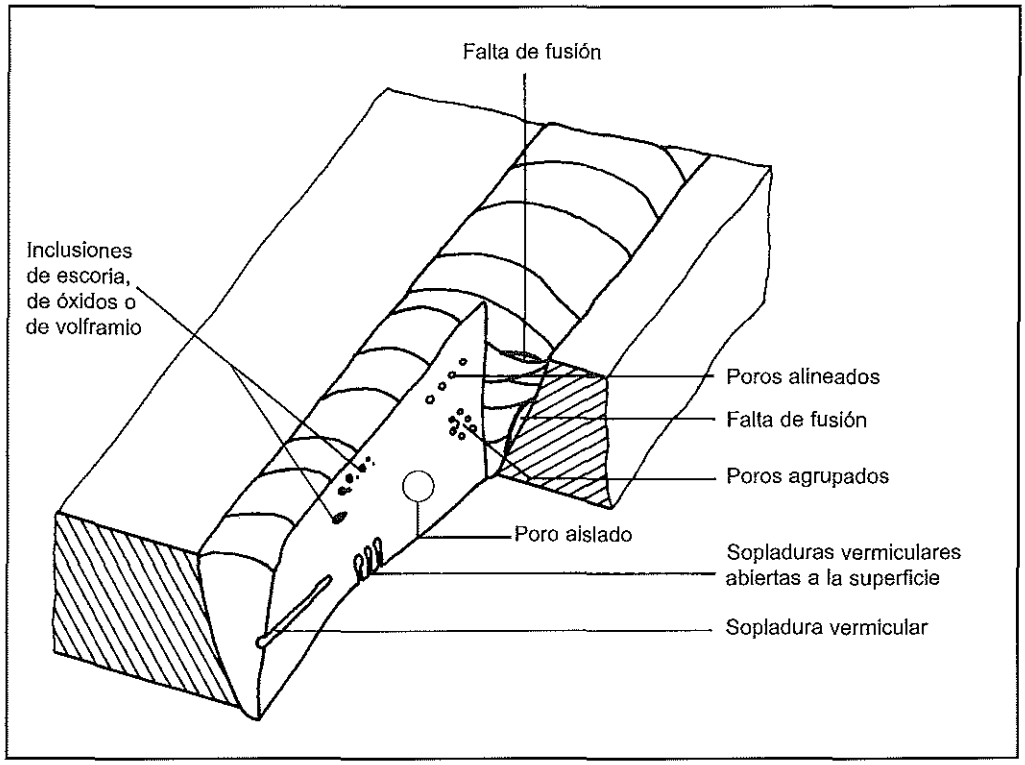


FIGURA 30.2: DEFECTOS INTERNOS EN UNA SOLDADURA

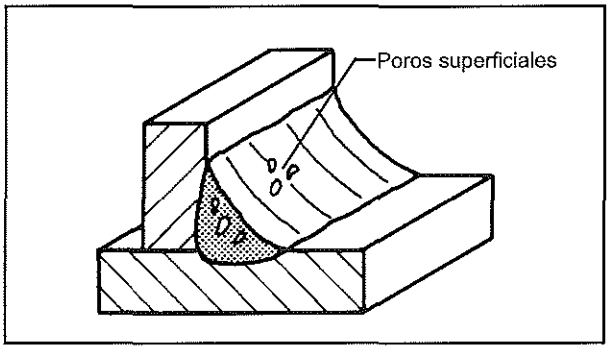


FIGURA 30.3: SOPLADURAS Y POROS

El diámetro máximo admitido de un poro aislado según la Norma Europea es de un tercio del espesor de la pieza cuando se suelda a tope; nunca debe superar los 3 mm, para el nivel elevado de calidad, los poros superficiales en el aluminio no pueden ser mayores de 1 mm. Cuando el nivel de calidad es elevado o intermedio, no se aceptan las sopladuras vermiculares ya que son las más peligrosas.

Las causas más probables de la existencia de los poros y sopladuras son:

- Falta de limpieza en los bordes de la unión, presencia de óxidos, pintura o grasa.
- Intensidad excesiva.
- Revestimiento húmedo; emplear electrodos mal conservados, húmedos u oxidados.
- Empleo de electrodos con el extremo desprovisto de recubrimiento.
- Condiciones atmosféricas desfavorables: excesivo viento.
- Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.
- Equipo de soldeo en mal estado: fugas en el sistema de refrigeración, gases de protección con humedad, etc.
- Gas de protección inadecuado o insuficiente.

30.4. Inclusiones Sólidas

Se representan en la figura 30.2 pudiendo ser:

- **Inclusiones de escoria**, es decir residuos de revestimiento del electrodo o del fundente, que han fundido y solidificado en la soldadura. Pueden presentarse de forma aislada, alineadas o agrupadas.

  La importancia de este defecto depende del tamaño de la inclusión de escoria y de la distancia que exista entre las inclusiones. Cuando el nivel de calidad exigido es elevado sólo se admiten inclusiones menores de un tercio del espesor de la soldadura, siempre que la longitud total de todas las inclusiones existentes sea menor del 25% de la longitud de la soldadura y la dimensión de cada inclusión sea menor del 0,3 veces el espesor del metal base o menor de 2 mm, si son mayores no están admitidas.

- **Óxidos metálicos**, aprisionados durante la solidificación, por ejemplo óxido de aluminio.

- **Partículas de metal extrañas** aprisionadas en el metal fundido; puede ser de volframio, cobre u otro metal.

En ningún caso se admite la inclusión de volframio ni de cobre. Las inclusiones de óxidos normalmente tampoco se admiten.

Causas más probables:

- Soldeo con intensidad muy baja en el caso de inclusiones de escoria, o con intensidad demasiado alta para el caso de inclusiones de volframio en el soldeo TIG (tan alta que funda el electrodo de volframio).
- Contaminación del baño de fusión o de la varilla por contacto con el electrodo de volframio.
- Mala preparación de la unión: poca separación entre las chapas o bisel con ángulo pequeño.
- Falta de limpieza de la escoria, sobre todo al realizar soldaduras de varias pasadas.
- Inclinación incorrecta del electrodo o inadecuado balanceo de éste.
- Arco demasiado largo.
- Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.

30.5. Falta de Fusión y de Penetración

30.5.1. Falta de fusión

La falta de fusión (figura 30.2 y figura 30.4) es la falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado. Es decir se produce una pegadura y no una verdadera unión.

Éste es un defecto muy peligroso y por tanto normalmente no es aceptado, cuando se acepta sus dimensiones serán muy pequeñas.

Las causas más probables son:

- Arco demasiado largo.
- Intensidad baja.
- Excesiva velocidad de desplazamiento.
- Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, una separación muy pequeña entre las chapas a unir o existencias de una desalineación entre las piezas.

- Posición del electrodo incorrecta, no centrada con respecto a los bordes de la unión.
- Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de sobreespesor muy grande.
- Realizar empalmes defectuosos.

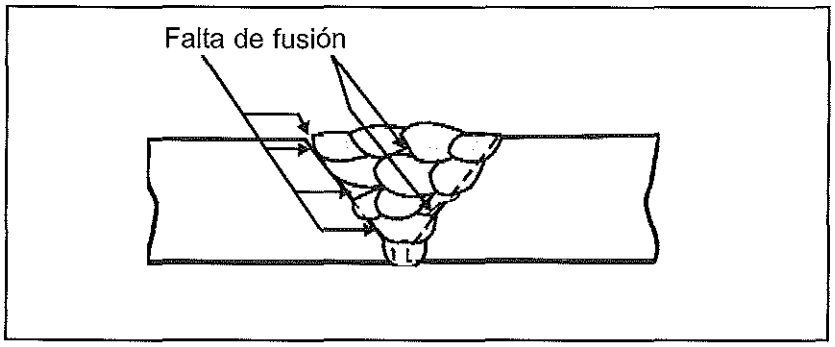


FIGURA 30.4: FALTA DE FUSIÓN

30.5.2. Falta de Penetración

Es una falta de fusión en la zona que se conoce como raíz de la soldadura (ver figura 30.5). En las soldaduras con penetración parcial se considera falta de penetración cuando se obtienen penetraciones de dimensiones menores a las especificadas o deseadas [ver figura 30.5 (B)].

Este tipo de imperfección también es peligroso y sólo se admite en los niveles de calidad moderado e intermedio, cuando la falta de penetración tiene dimensiones muy pequeñas. Nunca es admisible en los niveles de calidad elevados.

Las causas más probables son:

- Baja intensidad de soldeo.
- Excesiva velocidad de soldeo.
- Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande.
- Electrodo de diámetro demasiado grande.
- Desalineamiento entre las piezas.

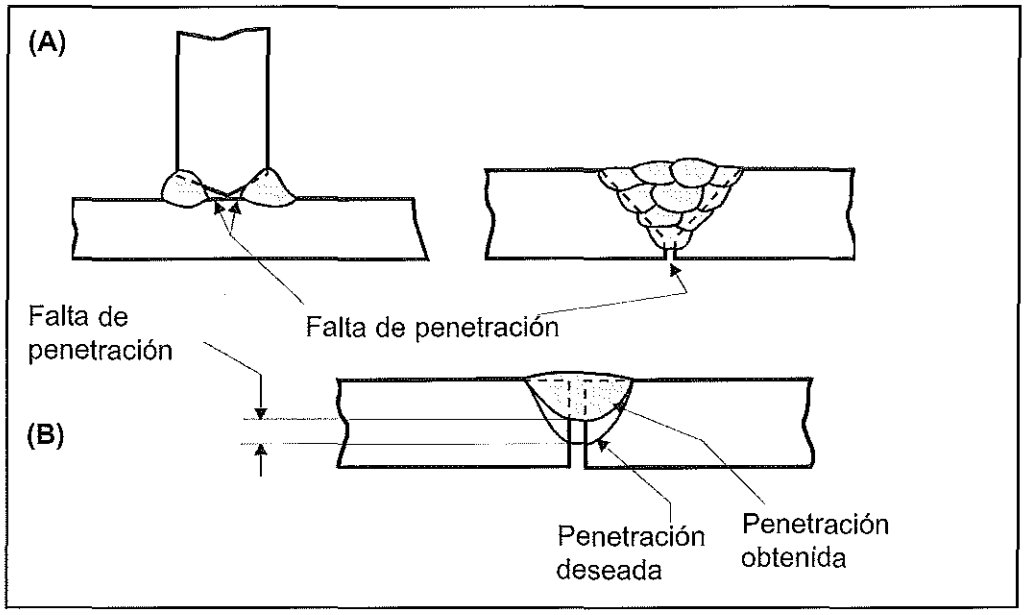


FIGURA 30.5: FALTA DE PENETRACIÓN

30.6. Imperfecciones de Forma y Dimensión

Son aquéllas que afectan a la forma final del cordón de soldadura, bien en su superficie o en su sección transversal. Se debe tener en cuenta que una soldadura no es mejor cuanto mayor sea, sino cuanto más se parezca a la especificada y cuanto más suavemente realice la transición entre las dos piezas a unir. En los apartados 30.7.1 a 30.7.12 se describen las características de estas imperfecciones.

30.6.1. Mordedura

Una mordedura (ver figura figura 30.6) es una falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura, pudiendo aparecer entre la soldadura y el metal base o entre dos cordones.

Este defecto es tanto más grave cuanto mayor es su profundidad, se admiten las mordeduras poco profundas normalmente inferiores a 0,5 mm.

Causas más probables:

- Electrodo demasiado grueso.
- Excesiva intensidad de soldeo.

- Posición incorrecta del electrodo.
- Velocidad de desplazamiento elevada y falta de retención en los extremos.

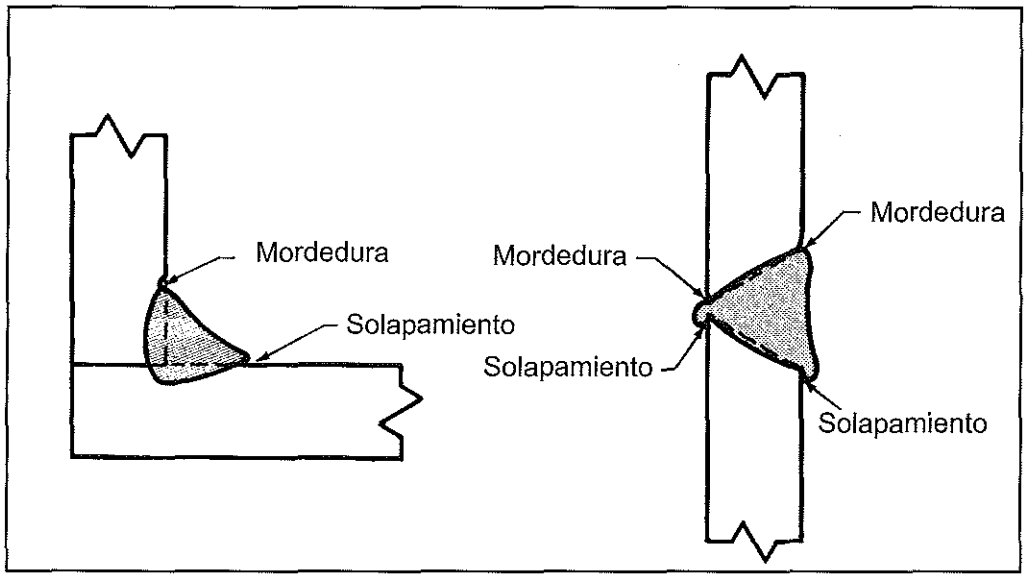


FIGURA 30.6: MORDEDURA Y SOLAPAMIENTO

30.6.2. Solapamiento

Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él (ver figura 30.6).

No se permite en los dos niveles de calidad más elevados.

30.6.3. Sobreespesor excesivo

Es un exceso de metal depositado en las pasadas finales (ver figura 30.7).

Puede ser debido a :

- Poca velocidad de soldeo
- Poca separación entre las chapas a unir a tope.

El sobreespesor podrá ser mayor cuanto más grande sea el ancho del cordón, normalmente deberá tener una dimensión de 1 a 3 mm no debiendo superar los 5 mm.

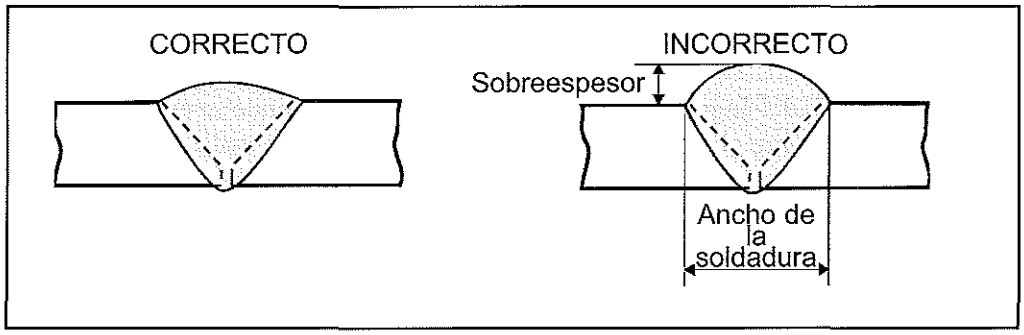


FIGURA 30.7: SOBREESPESOR EXCESIVO

30.6.4. Exceso de penetración

Es un exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura, normalmente ocurre cuando se suelda por un solo lado (ver figura 30.8).

Si el exceso de penetración se presenta en la parte interior de una tubería puede ser muy perjudicial.

Se produce por:

- Separación de los bordes excesiva.
- Intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz.
- Velocidad muy baja de soldeo.
- Diseño de unión defectuoso con preparación incorrecta del talón.

El exceso de penetración debe ser generalmente de 1 a 2 mm no debiendo superar nunca los 3 mm.

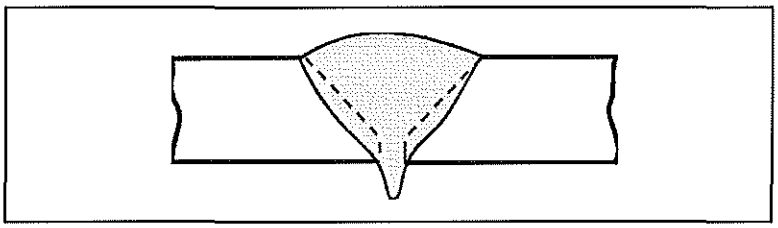


FIGURA 30.8: EXCESO DE PENETRACIÓN

Una descolgadura es un exceso de penetración puntual.

30.6.5. Ángulo de acuerdo incorrecto

Valor pequeño del ángulo α mostrado en la figura 30.9, donde se puede observar que la transición entre el metal de soldadura y el metal base se realiza de una forma muy brusca cuando el ángulo α es pequeño, actuando como una entalla donde se concentrarán los esfuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.

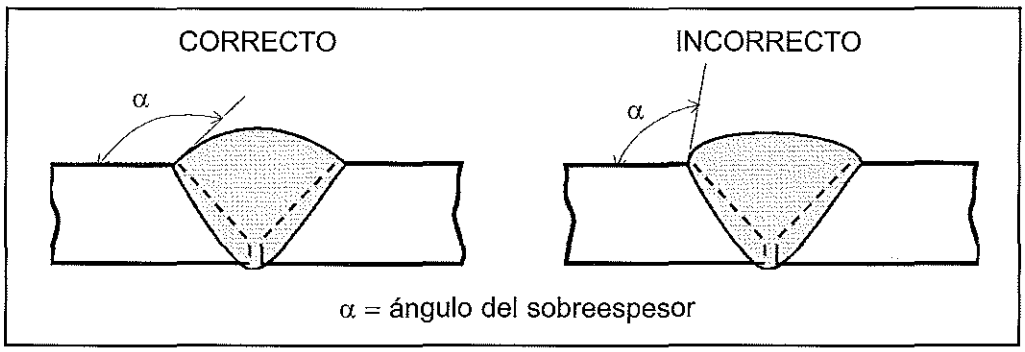


FIGURA 30.9: ÁNGULO DEL SOBREESPESOR INCORRECTO

30.6.6. Falta de alineación o deformación angular

Es una falta de alineación de las dos piezas soldadas que no se encuentran en el mismo plano, se puede ver en la figura 30.10.

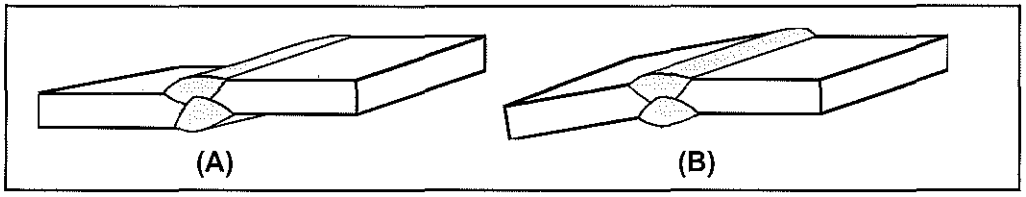


FIGURA 30.10: (A) FALTA DE ALINEACIÓN. (B) DEFORMACIÓN ANGULAR

Se suelen admitir desalineaciones menores de la décima parte del espesor de la chapa.

30.6.7. Falta de metal de soldadura

Canal longitudinal continuo o discontinuo en la superficie de la soldadura debido a una insuficiente deposición de metal de aportación (figura 30.11).

Se debe a:

- Excesiva velocidad de soldeo
- Separación entre las chapas muy elevada.

Cuando se produce por desplazamiento del metal depositado debido a su propio peso se denomina desfondamiento. Se permiten faltas de material entre 0,5 y 1 mm.

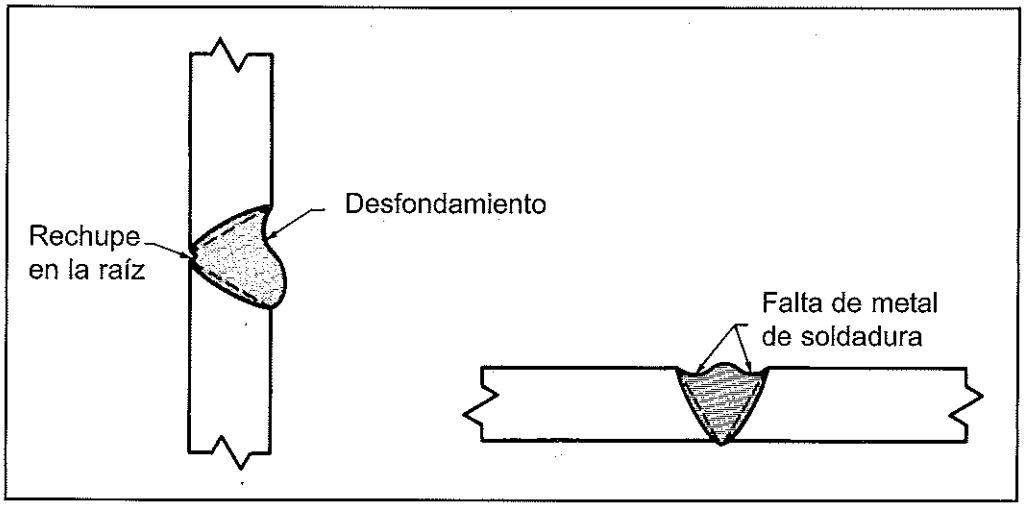


FIGURA 30.11: FALTA DE METAL DE SOLDADURA

30.6.8. Perforación

Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma. No se permiten.

30.6.9. Rechupe

Los rechupes son cavidades debidas a la contracción del metal durante su solidificación, pueden formarse, entre otros sitios, en el cráter de soldadura, denominándose rechupes de cráter. Su origen se debe a:

- Soldar con intensidad excesiva.
- Interrumpir bruscamente el arco.

También se pueden formar en la raíz denominándose entonces rechupes de raíz (figuras 30.11 y 30.12)

El rechupe no deberá ser mayor de 0,5 a 1 mm aproximadamente.

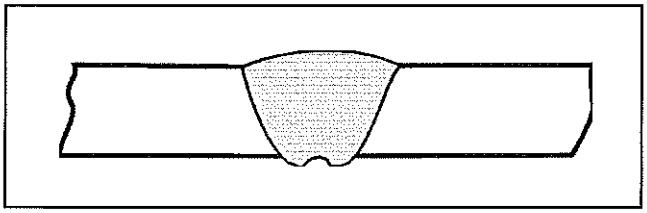


FIGURA 30.12: RECHUPE DE RAÍZ

30.6.10. Exceso de asimetría en la soldadura en ángulo

Se produce por realizar las soldaduras disponiendo el metal de aporte de forma asimétrica respecto a las piezas (ver figura 30.13).

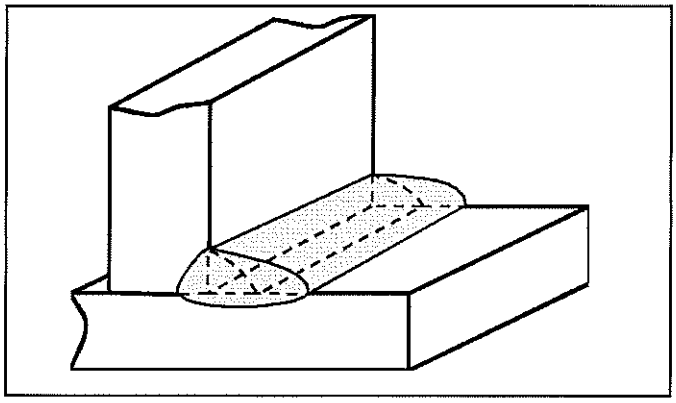


FIGURA 30.13: EXCESO DE ASIMETRÍA

30.6.11. Anchura irregular y superficie irregular

Soldadura con anchura diferente en distintas partes de la soldadura o con excesiva rugosidad superficial.

30.6.12. Empalme defectuoso

Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de dos cordones.

No se permite más que en el nivel de calidad más bajo.

30.7. Otras Imperfecciones

30.7.1. Cebado de arco

Alteración local de la superficie del metal base a consecuencia del cebado del arco fuera de los bordes de la unión.

No se permite. Hay que cebar el arco en la preparación del cordón, en la zona que todavía no ha sido soldada. Un cebado de arco en el metal base puede constituir un conjunto de grietas de pequeño tamaño que crecerán durante el funcionamiento en servicio de la pieza.

30.7.2. Salpicaduras o proyecciones

Gotas de metal fundido proyectado durante el soldeo que se adhieren sobre el metal base, o sobre el metal de soldadura, ya solidificado.

La aceptación depende de las aplicaciones.

30.7.3. Desgarre local

Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje.

No se permiten.

30.7.4. Marca de amolado o de burilado

Deterioro local debido al amolado o burilado.

No se suele permitir si toca al cordón.

30.7.5. Amolado excesivo

Reducción del espesor debido a un amolado excesivo.

No se permite.

30.8. Consecuencias de las Imperfecciones de las Soldaduras

- Mala calidad de la estructura soldada y por tanto posible rotura de la misma.
- Mayor tiempo invertido (al tener que reparar).
- Mayor coste (por la reparación o rechazo y demora en el plazo de entrega).

Cuando las imperfecciones sean superiores a las indicadas por la norma se rechazará la pieza. Si lo permite el código o norma de diseño aplicable se resanará el cordón y se volverá a soldar.

El soldador corregirá (y no tapará) cualquier imperfección que detecte durante el soldeo empleando los útiles adecuados, o variando los parámetros de soldeo.

Capítulo 31

Control de Calidad de las Construcciones Soldadas

INDICE

31.1. Definición e importancia de la inspección de las construcciones soldadas 582

31.2. Objeto de la inspección 582

31.3. Planificación y programación de las actividades de inspección 583

31.3.1. Inspección antes del soldeo 583

31.3.2. Inspección durante el soldeo 585

31.3.3. Inspección después del soldeo 585

31.4. La inspección de soldaduras en el contexto del control de la calidad 586

31.1. Definición e Importancia de la Inspección de las Construcciones Soldadas

La inspección de construcciones soldadas podría definirse como el conjunto de actividades encaminadas a asegurar un determinado grado de fiabilidad de un conjunto soldado, mediante la verificación del mismo por medios adecuados durante diferentes fases del proceso productivo.

La importancia de esta inspección se desprende de la responsabilidad de los equipos y construcciones que actualmente se fabrican por soldeo, los cuales, en determinadas condiciones de fallo, afectan seria y directamente a la seguridad pública. Ejemplo de esto son: aviones, buques, trenes, plantas generadoras de energía (térmicas, hidroeléctricas y nucleares), complejos petroquímicos y transformadores de energía, puentes, estructuras metálicas, conducciones y transporte de gases y líquidos, etc...

El convencimiento de la importancia de inspeccionar estos conjuntos soldados, ha sido la causa de que, en todos los países industrializados, se hayan publicado códigos, especificaciones y normas relativos a su construcción e inspección. Además, en la mayoría de dichos países, es la propia Administración la que establece la obligatoriedad de construir e inspeccionar siguiendo unas determinadas normas, así como que el personal que la ejecute tenga unos conocimientos y experiencia mínimos. Al mismo tiempo, la industria también se ha hecho eco de esta necesidad, casi se puede decir que no existe una empresa industrial competitiva que no disponga de normas o instrucciones propias, estableciendo las bases de fabricación e inspección necesarias para que los conjuntos o equipos por ella fabricados, cumplan los requisitos de seguridad que los Organismos, nacionales e internacionales, fijan para el buen comportamiento en servicio de las construcciones soldadas.

31.2. Objeto de la Inspección

De la definición antes expuesta, se deduce que el principal objetivo, durante la inspección de soldaduras, es el determinar el grado de fiabilidad del conjunto inspeccionado. Es decir, poder conocer si lo inspeccionado va a poder se utilizado en las condiciones para las que fue diseñado.

Esto no quiere decir que el conjunto inspeccionado esté totalmente libre de defectos. Pueden, durante las distintas fases de inspección, detectarse imperfecciones o desviaciones sobre los requisitos establecidos, que no influyan esencialmente en el futuro comportamiento en servicio y que, a pesar de su existencia, se considere al conjunto apto para la instalación y funcionamiento.

La inspección debe hacerse evaluando los resultados en relación con unas exigencias establecidas en códigos o normas aplicables al producto examinado y son, en muchos casos, estos mismos documentos, los que "a priori" permiten ciertas anomalías o desviaciones respecto al ideal de obtener cero defectos, lo cual no es prácticamente imposible, pero tampoco es normalmente exigido.

31.3. Planificación y Programación de las Actividades de Inspección

Una vez definido el que un conjunto soldado va a ser sometido a una determinada inspección, es de la mayor importancia, para obtener de la misma el mayor aprovechamiento posible, el establecer un orden o sistemática acerca de la forma, del cómo y del cuándo la inspección va a ser efectuada.

La forma de llevar a cabo una inspección, así como el cómo y el cuándo, deben quedar reflejados en documentos escritos, tal como una especificación redactada al respecto. No deben quedar a capricho de los Inspectores o Clientes, pues en función de los conocimientos particulares de cada persona se inspeccionarían trabajos idénticos bajo diferentes puntos de vista, pudiendo darse el caso de efectuar las inspecciones cuando posibles defectos no fuesen fácilmente localizados. De la misma forma, los criterios de aceptación y rechazo deben quedar establecidos y acordados previamente al comienzo del trabajo.

Para el seguimiento y control de las diferentes inspecciones, suele ser de gran utilidad el que, los propios Inspectores, se confeccionen unas listas donde figuren cronológicamente las inspecciones a efectuar y vayan cumplimentándolas a medida que la inspección prospera. Con ellas, se puede conocer el estado del equipo en cualquier momento y tener la evidencia de que todas las inspecciones requeridas se han efectuado en su momento oportuno.

En términos generales, a continuación se enumeran una serie de actividades a considerar antes, durante y a la terminación de la soldadura.

31.3.1. Inspección antes del soldeo

Material base

- Composición química.
- Características mecánicas.
- Homogeneidad.

- Aspecto superficial y dimensiones principales.
- Posibles defectos internos (laminaciones, grietas, etc...)

Material de aportación

- Composición química.
- Características mecánicas.
- Estado de conservación (secado, condiciones de almacenaje, etc...)

Procedimientos de soldeo

- Alcance
- Compatibilidad de los materiales base y de aportación.
- Ensayos de cualificación.
- Requerimientos específicos (precalentamiento, aporte térmico, tratamientos térmicos, etc...).

Cualificaciones de los operarios

- Alcance.
- Ensayos de cualificación.
- Validez de la cualificación.

Medios

- Características de las máquinas.
- Características de los medios auxiliares.
- Estado de conservación y funcionamiento.

Preparación de la unión

- Control de las preparaciones de bordes.
- Limpieza.
- Características del punteado o medios de sujeción.
- Alineación y separación entre bordes.
- Predeformaciones.
- Posición en la que vaya a soldarse.

31.3.2. Inspección durante el soldeo

- Precalentamiento.
- Temperaturas entre pasadas.
- Deposición y penetración del cordón de raíz.
- Grietas en el cordón de raíz.
- Resanado del cordón de raíz.
- Orden de deposición del resto de los cordones.
- Limpieza entre cordones.
- Forma de los cordones.
- Características eléctricas.
- Velocidad de soldeo.
- Atmósferas protectoras.

31.3.3. Inspección después del soldeo

- Velocidad de enfriamiento.
- Aspecto exterior.
- Dimensiones.
- Tratamientos térmicos.
- Deformaciones.
- Ensayos destructivos y no destructivos.

Puede verse que las actividades posibles de inspección "antes" del soldeo superan a la suma de las indicadas "durante" y "después" del soldeo: **En la preparación está la clave del éxito** y esto lo saben muy bien los soldadores. Todos los esfuerzos que se dediquen a preparar la unión correctamente, y la zona de trabajo, facilitarán su labor al soldador para la consecución de soldaduras libres de imperfecciones, con el consiguiente ahorro de reparaciones y rechazos.

31.4. La Inspección de Soldaduras en el Contexto del Control de la Calidad

Es frecuente que se asocie el "control de calidad" con lo que son actividades normales de "inspección". Indudablemente, casi todo programa de control de calidad precisa utilizar técnicas de inspección y éstas suponen, en muchos casos, la mayoría de las acciones a tomar, pero siempre dentro del contexto más amplio, que es de control de calidad.

Un programa integrado de control de calidad debe contar con las fases de:

- Formación y entrenamiento del personal.
- Control de suministros.
- Control del equipo de mediciones, ensayos y pruebas.
- Control del proceso de fabricación.
- Control de desviaciones.
- Control de costes.

Todas estas fases anteriores van dirigidas a que durante la aplicación de un control de calidad fiable hay que contar con personas preparadas y medios adecuados. Lo anterior supone, indudablemente, un coste empresarial que debe ser tenido en cuenta. Lo que no cabe ninguna duda es que no hay que tener un departamento, grupo o sección de control de calidad por el sólo hecho de tenerlo, esto además de que cuesta no se aprovecha. Cada empresa tiene que estudiar la fiabilidad que a sus productos le demanda el mercado y, con este dato, implantar su correspondiente programa de control de calidad. Para ello basta con que se responda a preguntas tales como:

- ¿Es competente mi personal para la ejecución correcta de las tareas que tienen que desarrollar?.
- ¿Puedo permitirme un descontrol de mis suministros y garantizar una calidad final de mi producto?.
- ¿De qué me sirven los datos de las inspecciones si no tengo garantizada su fiabilidad?.
- ¿Cómo afecta el control del proceso en el contexto global de la empresa?.
- ¿He iniciado acciones correctivas que impidan la recurrencia de defectos y/o fallos detectados?.

Por todo lo anterior se puede decir que el control de la calidad en las construcciones soldadas representa una serie de acciones que deben ser consideradas como parte del proceso productivo, encaminadas a asegurar un determinado grado de fiabilidad y a conseguir que los diferentes procesos industriales se apliquen de la forma más eficaz posible.

Debe desecharse rotundamente la suposición de que la función principal del control de calidad es detectar imperfecciones, **pues ello supondría reconocer el absurdo de que una empresa fabrica un producto sin conocer los rechazos que del mismo pueda tener**. Para lograr esto es imprescindible dos cosas: voluntad empresarial y actitud de las personas que efectúan actividades que afectan a la calidad de las uniones soldadas.

La voluntad empresarial se precisa para que facilite los medios adecuados y la formación y promoción permanente de su personal.

La actitud de las personas que llevan a cabo actividades que afectan a la calidad, como es el caso de los soldadores, influyen directamente no sólo en la calidad final del equipo soldado, sino en la productividad y competitividad de su empresa.

Capítulo 32

Cualificación de Soldadores

NDICE

32.1. ¿Qué quiere decir "Cualificar" a un soldador? 591

32.2. Objeto de la Norma UNE-EN 287 591

32.3. Definiciones 592

32.4. Símbolos y abreviaturas 592

32.5. Variables esenciales y rango de cualificación 595

- 32.5.1. Parte general 595
- 32.5.2. Procesos de soldeo 596
- 32.5.3. Tipo de producto 598
- 32.5.4. Tipo de soldadura 598
- 32.5.5. Grupo de materiales 598
- 32.5.6. Consumibles 600
- 32.5.7. Dimensiones 601
- 32.5.8. Posiciones de soldeo 603
- 32.5.9. Detalles de la soldadura 607

32.6. Examen y ensayo 608
32.6.1. Supervisión 608
32.6.2. Formas, dimensiones y número de cupones de prueba 608
32.6.3. Condiciones de soldeo 611
32.6.4. Métodos de ensayo 611
32.6.5. Cupón de prueba y probeta de ensayo 611
32.7. Periodo de validez 612
32.7.1. Cualificación inicial 612
32.7.2. Confirmación de la validez 612
32.7.3. Renovación de la cualificación 613
32.8. Certificado 613

32.1. ¿Qué Quiere Decir "Cualificar" a un Soldador?

La palabra **cualificar**, en el contexto de este capítulo, se debe entender como **valoración de la aptitud**. De esta definición se desprende que un soldador cualificado es aquél que demuestra tener una determinada aptitud para efectuar soldaduras aceptables, tras haber superado las pruebas y/o exámenes oportunos.

En el lenguaje cotidiano el término que más se utiliza para expresar lo anterior es el de **homologación**.

El **certificado**, de cualificación o de homologación, es el documento escrito donde se registran las condiciones de las pruebas y/o exámenes efectuadas por el soldador, los resultados de ellas y los tipos de soldaduras para las que el soldador queda cualificado u homologado. Es decir, en el certificado se recogen todos aquellos datos que valoran la aptitud del soldador y los diferentes tipos de soldaduras que puede realizar, por haber demostrado su **competencia** para ello.

En este capítulo vamos a describir la norma europea UNE-EN 287-1 "Cualificación de Soldadores. Soldeo por Fusión. Parte1: Aceros". La Norma UNE-EN ISO 9606-2 se diferencia de ésta en el material base a soldar, siguiendo la misma filosofía y sistemática pero con las diferencias lógicas del cambio de material base que en este caso es de aluminio.

32.2. Objeto de la Norma UNE-EN 287

La norma especifica los requisitos esenciales, rangos de cualificación, condiciones de las pruebas, criterios de aceptación y certificación para la cualificación del soldador en el soldeo de aceros.

Durante las pruebas de cualificación, se requerirá que el soldador demuestre experiencia práctica adecuada y conocimiento de la operativa de trabajo (examen no obligatorio) de los procesos de soldeo, materiales y requisitos de seguridad para los que será cualificado.

La norma tiene aplicación cuando las pruebas de cualificación del soldador sean requeridas por el cliente, autoridades de inspección o por otras organizaciones.

La norma es aplicable a las pruebas de cualificación de soldadores para el soldeo por fusión de aceros.

Los procesos a que se refiere esta norma incluyen aquellos procesos de soldeo por fusión que se designan como manuales o parcialmente mecanizados. No cubre los procesos totalmente mecanizados y totalmente automatizados.

La norma contempla las pruebas de cualificación de soldadores para trabajos en productos semiacabados o acabados, fabricados a partir de materiales fundidos, laminados, extruidos o forjados de los tipos que se indican en el apartado 32.5.5.

El certificado de cualificación se emite bajo la responsabilidad exclusiva de la persona u organismo examinador.

32.3. Definiciones

Cupón de prueba: Piezas a soldar durante las pruebas de cualificación.

Especificación de procedimiento de soldeo (WPS): Documento que contiene en detalle las variables requeridas para asegurar la repetitividad en una aplicación específica.

Persona u organismo examinador: Persona u organización que verifica el cumplimiento con la norma. La persona/organismo examinador debe ser aceptada por las partes contratantes.

Probeta de ensayo: Parte del cupón de prueba cortada para llevar a cabo los ensayos destructivos especificados.

Pruebas: Series de operaciones que incluyen el soldeo del cupón de prueba y los consiguientes ensayos destructivos y/o no destructivos, así como el informe de los resultados obtenidos.

Rango de cualificación: Extensión de la aprobación para una variable esencial.

Soldador manual: Soldador que sostiene y manipula el portaelectrodo, la pistola o el soplete de soldeo a mano.

32.4. Símbolos y Abreviaturas

Si no se emplea la expresión completa, deberán emplearse los siguientes símbolos y abreviaturas cuando se cumplimente el certificado de cualificación.

Para los cupones de prueba

a	espesor de diseño de la garganta
BW	soldadura a tope
D	diámetro exterior del tubo
FW	soldadura en ángulo

l_1	longitud del cupón de prueba
l_2	mitad del ancho del cupón de prueba
l_f	longitud a examinar
P	chapa
R_{eH}	límite elástico
s_1	espesor del metal de soldadura para el proceso 1
s_2	espesor del metal de soldadura para el proceso 2
t	espesor del material del cupón de prueba (chapa o espesor de pared)
t_1	espesor del material del cupón de prueba para el proceso 1
t_2	espesor del material del cupón de prueba para el proceso 2
T	tubo[1)]
Z	longitud del lado de la soldadura en ángulo

Para los consumibles

nm	sin metal de aporte
A	revestimiento ácido
B	revestimiento básico o alambre tubular básico
C	revestimiento celulósico
M	alambre tubular con polvo metálico
P	alambre tubular rutilo con escoria de enfriamiento rápido
R	revestimiento de rutilo o alambre tubular rutilo con escoria de enfriamiento lento
RA	revestimiento de rutilo-ácido
RB	revestimiento de rutilo-básico
RC	revestimiento de rutilo-celulósico

1) La palabra "tubo" solo o en combinación, se utiliza para designar "tubo", "tubería" o "sección hueca"

RR revestimiento grueso de rutilo

S alambre/varilla maciza

V alambre tubular rutilo o básico/fluorado

W alambre tubular básico/fluorado con escoria de enfriamiento lento

Y alambre tubular básico/fluorado con escoria de enfriamiento rápido

Z alambre tubular de otros tipos

Para otros detalles de las soldaduras

bs soldeo por ambos lados

lw soldeo a izquierdas

mb soldeo con respaldo

ml pasadas múltiples

nb soldeo sin respaldo

rw soldeo a derechas

sl pasada única

ss soldeo por un lado

Para los ensayos de doblado

A alargamiento mínimo requerido por la especificación del material en la cara de tracción

d diámetro del mandril o del rodillo interior

t_s espesor de la probeta del ensayo de doblado

Ejemplos de designaciones de cualificación de soldador:

- EN 287-1 111 P BW 8 B t09 PF ss nb significa:

  Norma de cualificación ..... .UNE-EN 287-1

  Proceso de soldeo: soldeo por arco con electrodo revestido 111

  Chapa.....P

  Soldadura a tope.....BW

  Grupo de material: acero austenítico 8

Material de aporte: electrodo revestido básico .....B

Espesor del cupón de prueba.....9 mm

Posición de soldeo: soldeo de chapa a tope, vertical ascendente.....PF

Detalles del tipo de soldadura: por una cara.....ss
sin respaldo.....nb

- EN 287-1 311 T BW 1 nm t02 D20 PA ss nb significa:

Norma de cualificación .....UNE-EN 287-1

Proceso de soldeo: soldeo oxiacetilénico.....311

Tubería.....T

Soldadura a tope.....BW

Grupo de material: acero aleado bajo en carbono.....1

Material de aporte: sin material de aporte .....nm

Dimensiones del cupón de prueba: espesor 2 mm t02
diámetro 20 mm D20

Posición de soldeo: soldeo de tubo a tope, rotando, eje horizontal, plano.....PA

Detalles del tipo de soldadura: por una sola cara .....ss
sin respaldo.....nb

32.5. Variables Esenciales y Rango de Cualificación

32.5.1. Parte general

La cualificación de los soldadores se basa en variables esenciales. Para cada variable esencial se define un rango de cualificación. Todos los cupones de ensayo se soldarán utilizando las variables esenciales independientemente, excepto para las dimensiones del cupón de prueba y las posiciones de soldeo. Si el soldador tiene que soldar fuera del rango de cualificación se tiene que realizar una nueva prueba de cualificación. Las variables esenciales son :

- proceso de soldeo
- tipo de producto (chapa y tubo)
- tipo de soldadura (a tope y en ángulo)
- grupo de material
- consumible de soldeo
- dimensión
- posición de soldeo
- detalle de la soldadura (respaldo, soldeo por un lado, soldeo por ambos lados, pasada única, pasada múltiple, soldeo a izquierdas, soldeo a derechas)

32.5.2. Procesos de soldeo

Los procesos de soldeo están definidos en ISO 857-1 y los números de referencia de dichos procesos de soldeo se indican en EN ISO 4063.

Esta norma cubre los procesos de soldeo manuales y parcialmente mecanizados siguientes :

111 soldeo por arco con electrodo revestido

114 soldeo por arco con alambre tubular autoprotegido

121 soldeo por arco sumergido con un alambre electrodo

125 soldeo por arco sumergido con alambre tubular

131 soldeo por arco con gas inerte (soldeo MIG)

135 soldeo por arco con gas activo (soldeo MAG)

136 soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas activo

141 soldeo por arco con gas inerte y electrodo de volframio (soldeo TIG)

15 soldeo por arco plasma

311 soldeo oxiacetilénico

NOTA : Los principios de esta norma se pueden aplicar a otros procesos de soldeo por fusión.

Cada prueba de cualificación normalmente solo cualifica un proceso de soldeo. Un cambio en el proceso de soldeo requiere una nueva prueba de cualificación, a excepción de los cambios de alambre macizo S (proceso de soldeo 135) a alambre con relleno metálico (proceso de soldeo 136) o viceversa que no requieren una nueva prueba de cualificación (véase tabla 32.3). Sin embargo, un soldador puede cualificarse en dos o más procesos de soldeo soldando un único cupón de prueba (unión multiproceso) o mediante dos o más pruebas de cualificación independientes. Los rangos de cualificación para cada proceso de soldeo utilizado y para la unión multiproceso en soldaduras a tope se indican en la Tabla 32.1 (véase también la tabla 32.4)

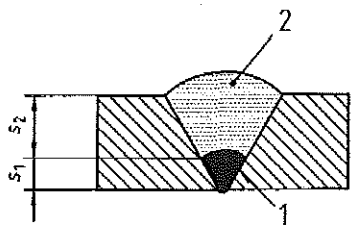
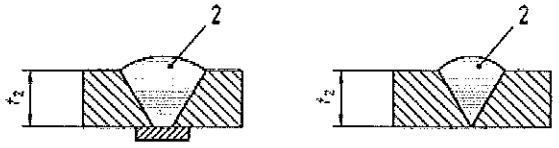
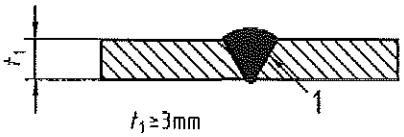
Proceso de soldeo utilizado en el cupón de prueba	Rango de espesores	
	Unión con un solo proceso	Unión multiproceso
 **Clave** 1 Proceso de soldeo 1 (nb) 2 Proceso de soldeo 2 (mb)	de acuerdo con Tabla 32.4 para el proceso 1: $t = s_1$ para el proceso 2: $t = s_2$	de acuerdo con Tabla 32.4 con $t = s_1 + s_2$
 **Clave** 2 Proceso de soldeo 2 3 Soldeo con respaldo (mb) 4 Soldeo sin respaldo (nb)	de acuerdo con la Tabla 32.4 para el proceso 1: $t = t_1$ para el proceso 2: $t = t_2$	de acuerdo con la Tabla 32.4 $t = t_1 + t_2$ El proceso 1 solo para el proceso de la zona de la raíz
 **Clave** 1 Proceso de soldeo 1		

TABLA 32.1: RANGOS DE ESPESORES PARA UNIONES A TOPE SOLDADAS CON UN SOLO PROCESO O CON PROCESOS MÚLTIPLES

32.5.3. Tipo de producto

La prueba de cualificación se llevará a cabo con chapa o tubo. Son de aplicación los siguientes criterios :

a) las soldaduras de tubos con un diámetro exterior D > 25 mm cubren las soldaduras de chapa,

b) las soldaduras de chapas cubren las soldaduras de tubos :

- con diámetro exterior D ≥ 150 mm en las posiciones de soldeo PA,PB y PC,
- la posición de soldeo PE para chapas cubre diámetros exteriores de tubo D ≥ 500 mm de posición PF.

32.5.4. Tipo de soldadura

La prueba de cualificación se llevará a cabo en soldaduras a tope o en ángulo. Son de aplicación los siguientes criterios :

a) las soldaduras a tope cubren las soldaduras a tope de cualquier tipo de unión excepto las ramificaciones (véase también el apartado c).

b) en los casos que la mayoría del trabajo de soldeo es en ángulo, el soldador también se cualificará mediante un ensayo de soldeo en ángulo adecuado, en los casos que la mayoría del trabajo de soldeo es a tope, las soldaduras a tope cualifican a las soldaduras en ángulo.

c) Las soldaduras a tope de tubos sin respaldo cualifican las ramificaciones con un ángulo ≥ 60° con el mismo rango de cualificación de las tablas 32.1 a 32.7. Para una ramificación el rango de cualificación se basa en el diámetro exterior del ramal.

d) Para aplicaciones donde el tipo de soldadura no se puede cualificar mediante el ensayo de una unión a tope o en ángulo, para cualificar al soldador se deberá utilizar un cupón de prueba específico, por ejemplo, ramificaciones.

32.5.5. Grupo de materiales

Grupo de aceros de los materiales base

Con el fin de reducir el número de pruebas de cualificación, los materiales similares desde el punto de vista de su soldabilidad se han agrupado de acuerdo con CR ISO 15608.

Grupo 1: Aceros con límite elástico mínimo especificado $R_{eH} \leq 460$ N/mm^{2a} y con análisis en %: C$\leq$ 0.25, Si $\leq$ 060, Mn $\leq$ 1.70, Mo $\leq$ 0.70^{b}, S $\leq$ 0.045, P $\leq$ 0.045, Cu $\leq$ 0.40^{b}, Ni $\leq$ 0.5^{b}, Cr $\leq$ 0.3 (0.4 para fundiciones)^{b}, Nb $\leq$ 0.05, V $\leq$ 0.12^{b}, Ti $\geq$ 0.05.

Grupo 2: Aceros de grano fino tratados termomecánicamente y aceros de moldeo con un límite elástico mínimo especificado $R_{eH} > 360$ N/mm^2.

Grupo 3: Aceros templados y revenidos y aceros endurecibles por precipitación excepto aceros inoxidables con un límite elástico mínimo especificado $R_{eH} > 360$ N/mm^2.

Grupo 4: Aceros aleados Cr-Mo-(Ni) con bajo contenido en vanadio y con Mo $\leq$ 0.7% y V$\leq$ 0.1%.

Grupo 5: Aceros al Cr-Mo libres de vanadio con C<0.35%^{c}.

Grupo 6: Aceros aleados Cr-Mo-(Ni) con alto contenido en vanadio.

Grupo 7: Aceros inoxidables ferríticos, martensíticos o endurecibles por precipitación con C$\leq$ 0.35% y 10.5% $\leq$ Cr $\leq$ 30%.

Grupo 8: Aceros inoxidables austeníticos.

Grupo 9: Aceros aleados al níquel con Ni $\leq$ 10.0%.

Grupo 10: Aceros inoxidables austeno-ferríticos (dúplex)

Grupo 11: Aceros cubiertos en el grupo 1^{d} excepto 0.25% < C $\leq$ 0.5%.

[a] De acuerdo con la especificación de las normas de productos del acero, ReH puede reemplazarse por $R_{p0,2}$ o $R_{t0,5}$.

[b] Se acepta un valor mayor siempre que Cr + Mo + Ni + Cu + V $\leq$ 0.75%.

[c] "Libre de Vanadio" significa que no se añade deliberadamente al material.

[d] Se acepta un valor siempre que Cr + Mo + Ni + Cu + V $\leq$ 1%.

Para obtener más información sobre la clasificación de los aceros consultar el informe CR ISO 15608:2000.

Rango de cualificación

El soldeo de cualquier metal de un grupo de materiales conlleva la cualificacion del soldador para el soldeo de todos los otros metales del mismo grupo de

materiales, así como otros grupos de materiales de acuerdo con la tabla 32.2.

Cuando se sueldan materiales base no contemplados en el sistema de agrupación, se requiere una prueba de cualificación independiente.

Cualificación de uniones con metales disimilares: Cuando se utilicen metales de aporte de los grupos de materiales 8 ó 10, quedan cubiertas todas las combinaciones de materiales de los grupos 8 ó 10 con materiales de otros grupos.

Una prueba de cualificación realizada con materiales forjados de un grupo cualifica a los materiales fundidos y a la combinación de materiales fundidos y forjados del mismo grupo.

Grupo de material[a] del cupón de prueba		Rango de cualificación												
		1.1 1.2 1.4	1.3	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11
											9.1	9.2+9.3		
1.1, 1.2, 1.3		X	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.3		X	X	X	X	--	--	--	--	--	X	--	--	X
2		X	X	X	X	--	--	--	--	--	X	--	--	X
3		X	X	X	X	--	--	--	--	--	X	--	--	X
4		X	X	X	X	X	X	X	X	--	X	--	--	X
5		X	X	X	X	X	X	X	X	--	X	--	--	X
6		X	X	X	X	X	X	X	X	--	X	--	--	X
7		X	X	X	X	X	X	X	X	--	X	--	--	X
8		--	--	--	--	--	--	--	--	X	--	X	X	--
9	9.1	X	X	X	X	--	--	--	--	--	X	--	--	X
	9.2 + 9.3	X	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X	--	--
10		--	--	--	--	--	--	--	--	X	--	X	X	--
11		X	X	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X

[a] Grupo de materiales de acuerdo con CR ISO 15608

Clave

X indica aquellos grupos de materiales en los que el soldador queda cualificado.
-- indica aquellos grupos de materiales en los que el soldador no queda cualificado.

TABLA 32.2: RANGO DE CUALIFICACIÓN DEL METAL BASE

32.5.6. Consumibles

La cualificación con metal de aporte, por ejemplo con los procesos de soldeo 141,15 y 311, cualifica para el soldeo sin metal de aporte pero no viceversa.

Los rangos de cualificación para los consumibles se indican en la tabla 32.3.

Proceso de soldeo	Consumibles utilizados en el ensayo[b]	Rango de cualificación		
		A, RA, RB, RC, RR, R	B	C
111	A, RA, RB, RC, RR, R	X	--	--
	B	X	X	--
	C	--	--	X

--	--	alambre macizo (S)	alambre tubular (M)	alambre tubular (B)	alambre tubular (R, P, V, W, Y, Z)
131 135	alambre macizo (S)	X	X	--	--
136 141	alambre tubular (M)	X	X	--	--
136	alambre tubular (B)	--	--	X	X
114 136	alambre tubular (R, P, V, W, Y, Z)	--	--	--	X

[a] Ver las abreviaturas en apartado 32.4

[b] El tipo de consumibles utilizados en la prueba de cualificación de soldadores para la pasada de raíz sin respaldo (ss nb) es el tipo de consumible cualificado para la pasada de raíz en producción.

Clave
X indica aquellos consumibles en los que el soldador queda cualificado
-- indica aquellos consumilbes en los que el soldador no queda cualificado

TABLA 32.3: RANGO DE CUALIFICACIÓN PARA LOS CONSUMIBLES[A)]

32.5.7. Dimensiones

La prueba de cualificación del soldador para uniones a tope se basa en el espesor del material y en los diámetros exteriores de los tubos. Los rangos de cualificación se especifican en las tablas 32.4 y 32.5.

No se pretende tanto la precisión en la medida de espesores y diámetros exteriores, como la aplicación de la filosofía general en cuanto a los valores contenidos en las tablas 32.4 y 32.5

Para las soldaduras en ángulo el rango de cualificación para espesores se especifica en la tabla 32.6.

En el caso de soldeo de ramificaciones el criterio para los espesores es el de la tabla 32.4 y el criterio para los diámetros exteriores de los tubos el de la tabla 32.5, aplicándose como sigue:

- Ramificación apoyada: El espesor del material y el diámetro exterior del ramal
- Ramificación embutida : El espesor del material del tubo o envolvente principal y el diámetro exterior del ramal.

Para cupones con diferentes diámetros exteriores y espesores, el soldador se cualifica para :

1) el menor y mayor espesor cualificado de acuerdo con la tabla 32.4,

2) el menor y mayor diámetro exterior cualificado de acuerdo con la tabla 32.5.

Dimensiones en milímetros

Espesor [a] t	Rango de cualificación
$t < 3$	t a 2 x t[b]
$3 \leq t \leq 12$	3 a 2 x t[c]
$t > 12$	≥ 5
[a] Para procesos múltiples aplica s_1 y s_2 de la tabla 32.1. [b] Para el soldeo oxiacetilénico (311): t a 1,5 x t. [c] Para el soldeo oxiacetilénico (311): 3 mm a 1,5 x t	

TABLA 32.4: RANGO DE CUALIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DE MATERIALES Y DEL METAL DE SOLDADURA DEL CUPÓN DE PRUEBA PARA UNIONES A TOPE

Dimensiones en milímetros

Diámetro exterior del cupón de prueba D	Rango de cualificación
$D \leq 25$	D a 2 x D
$D > 25$	$\geq$ 0,5 x D (mínimo 25 mm)
[a] Para secciones estructurales huecas, D es la dimensión del lado menor.	

TABLA 32.5: RANGO DE CUALIFICACIÓN PARA DIÁMETROS EXTERIORES[A]

Dimensiones en milímetros

Espesor del cupón de prueba t	Rango de cualificación
$t < 3$	t a 3
$t \geq 3$	≥ 3
[a] Véase también la tabla 32.9.	

TABLA 32.6: RANGO DE CUALIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DE MATERIALES DE CUPÓN DE PRUEBA PARA UNIONES EN ÁNGULO[A]

32.5.8. Posiciones de soldeo

El rango de cualificación para cada posición de soldeo se indica en la tabla 32.7.

La forma de designar en la normativa europea a las posiciones de soldeo se resume en la tabla 32.8. En la tabla 32.9 se representa la correspondencia entre las designaciones europeas y americana.

Posición de soldeo del cupón de prueba	Rango de cualificación[a]										
	PA	PB[b]	PC	PD[b]	PE	PF (chapa)	PF (tubo)	PG (chapa)	PG (tubo)	H-L045	J-L045
PA	X	X	--	--	--	--	--	--	--	--	--
PB[b]	X	X	--	--	--	--	--	--	--	--	--
PC	X	X	X	--	--	--	--	--	--	--	--
PD[b]	X	X	X	X	X	X	--	--	--	--	--
PE	X	X	X	X	X	X	--	--	--	--	--
PF (chapa)	X	X	--	--	--	X	--	--	--	--	--
PF (tubo)	X	X	--	X	X	X	X	--	--	--	--
PG (chapa)	--	--	--	--	--	--	--	X	--	--	--
PG (tubo)	X	X	--	X	X	--	--	X	X	--	--
H-L045	X	X	X	X	X	X	X	--	--	X	--
J-L045	X	X	X	X	X	--	--	X	X	--	X

[a] Se tendrán en cuenta, adicionalmente, los requisitos del apartado 32.5.3 y 32.5.4

[b] Las posiciones de soldeo PB y PD solo se utilizan para soldaduras en ángulo (véase apartado 32.5.4) y solo pueden cualificar uniones en ángulo en otras posiciones.

Clave
X Indica aquellas posiciones de soldeo para las cuales el soldador queda cualificado.
-- Indica aquellas posiciones de soldeo para las cuales el soldador no queda cualificado.

TABLA 32.7: RANGO DE CUALIFICACIÓN PARA LAS POSICIONES DE SOLDEO

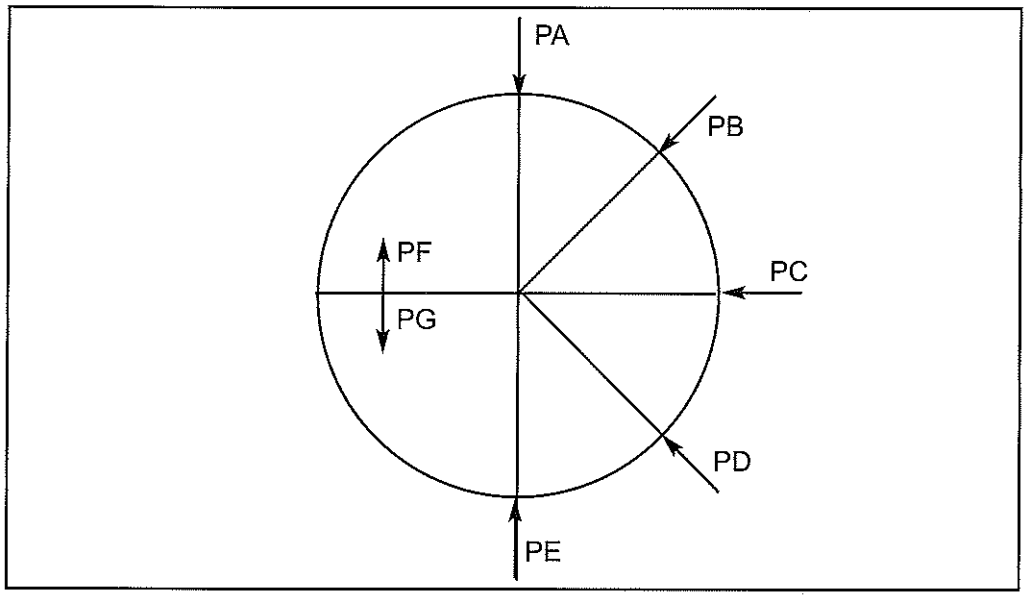


TABLA 32.8: CORRELACIÓN ENTRE LA POSICIÓN DEL CONSUMIBLE, O DE LA FUENTE DE CALOR, RESPECTO A LA UNIÓN A SOLDAR INDICADA POR LA DIRECCIÓN DE LAS FLECHAS Y LAS DESIGNACIONES DE LAS POSICIONES DE SOLDEO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA (EN)

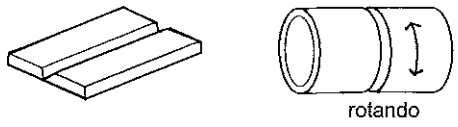
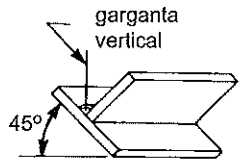
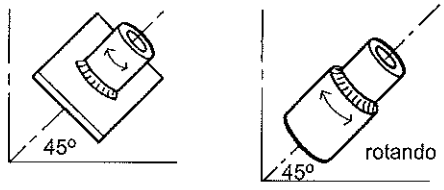
Posicion de la unión	Designación	
	EN	ASME
	PA	1G
	PA	1F
	PA	1FR

TABLA 32.9: CORRESPONDENCIA ENTRE LAS DESIGNACIONES DE LAS POSICIONES DE SOLDEO CONFORME A LA NORMATIVA EUROPEA (EN) Y LA AMERICANA (ASME)

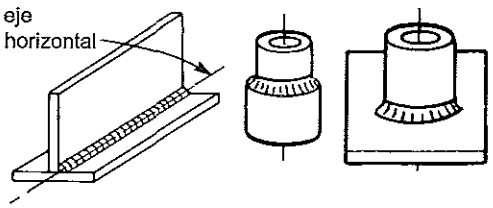
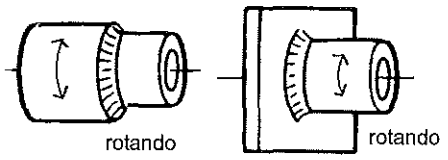
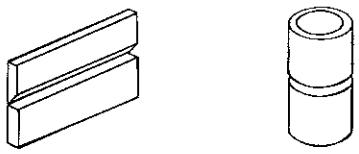
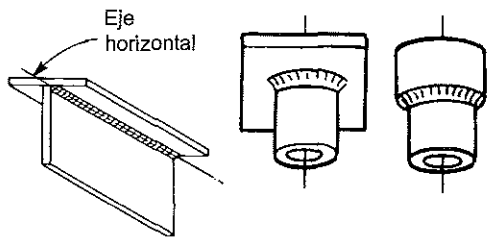
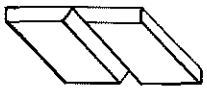
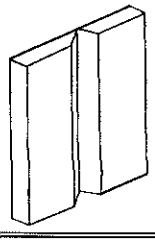
Posicion de la unión	Designación	
	EN	ASME
	PB	2F
	PB	2FR
	PC	2G
	PD	4F
	PE	4G
	PF PG	3G ascendente 3G descendente

TABLA 32.9 (CONTINUACIÓN): CORRESPONDENCIA ENTRE LAS DESIGNACIONES DE LAS POSICIONES DE SOLDEO CONFORME A LA NORMATIVA EUROPEA (EN) Y LA AMERICANA (ASME)

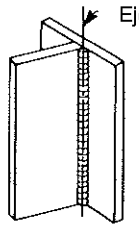
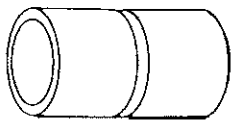
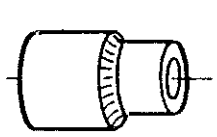
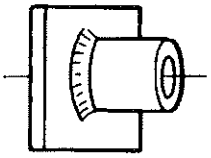
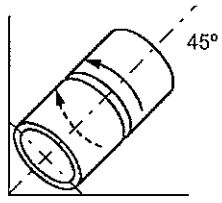
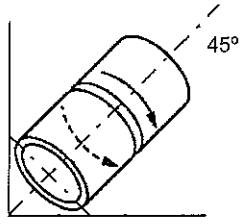
Posicion de la unión	Designación	
	EN	ASME
	PF PG	3F ascendente 3F descendente
 Tuberías fijas	PF PG	5G ascendente 5G descendente
 Tuberías fijas  Tuberías fijas	PF PG	5F ascendente 5F descendente
	H-L045	6G
	J-L045	6G

TABLA 32.9 (CONTINUACIÓN): CORRESPONDENCIA ENTRE LAS DESIGNACIONES DE LAS POSICIONES DE SOLDEO CONFORME A LA NORMATIVA EUROPEA (EN) Y LA AMERICANA (ASME)

Las posiciones de soldeo J-L045 y H-L045 para tubos cualifican para todos los ángulos de tubos.

El soldeo de dos tubos con el mismo diámetro exterior, uno en la posición PF y otro en la PC, también cubre el rango de cualificación de un tubo soldado en la posición H-L045.

El soldeo de dos tubos con el mismo diámetro exterior, uno en la posición PG y otro en la PC, también cubre el rango de cualificación de un tubo soldado en la posición J-L045.

Los tubos con diámetro exterior $D \geq 150$ mm se pueden soldar en dos posiciones de soldeo (PF o PG en 2/3 de circunferencia y PC en 1/3 de circunferencia) utilizando un solo cupón de prueba.

32.5.9.Detalles de la soldadura

En las tablas 32.10 y 32.11 se muestran los rangos de cualificación en función de detalles de la soldadura.

Cuando se suelda con el proceso 311, el cambio de soldeo a derechas por el soldeo a izquierdas, y viceversa, requiere una nueva prueba de cualificación.

Detalles de la solddura del cupón de prueba	Rango de cualificación		
	Soldeo por un solo lado/soldeo sin respaldo (ss nb)	Soldeo por un solo lado/soldeo con respaldo (ss mb)	Soldeo por ambos lados (bs)
Soldeo por un solo lado/soldeo sin respaldo (ss nb)	X	X	X
Soldeo por un solo lado/soldeo con respaldo (ss mb)	--	X	X
Soldeo por ambos lados (bs)	--	X	X

Clave

X Indica aquellas soldaduras para las cuales el soldador queda cualificado.
-- Indica aquellas soldaduras para las cuales el soldador no queda cualificado.

TABLA 32.10: RANGO DE CUALIFICACIÓN PARA DETALLES DE LAS SOLDADURAS A TOPE

Cupón de prueba [a]	Rango de cualificación	
	Pasada única (sl)	Pasada múltiple (ml)
Pasada única (sl)	X	--
Pasada múltiple (ml)	X	X

[a] El espesor de garganta estará en el rango 0,5 x t $\leq$ a $\leq$ 0,7 t.

Clave

X Indica la técnica de pasadas para las cuales el soldador queda cualificado.
-- Indica la técnica de pasadas para las cuales el soldador no queda cualificado.

TABLA 32.11: RANGO DE CUALIFICACIÓN PARA LA TÉCNICA DE PASADAS EN SOLDADURAS EN ÁNGULO

32.6. Examen y Ensayo

32.6.1. Supervisión

El soldeo de los cupones de prueba será presenciado por la persona u organismo examinador. Los ensayos serán verificados por la persona y organismo examinador.

Los cupones de prueba se marcarán con la identificación del examinador y del soldador antes de comenzar a soldar. Adicionalmente se marcarán las posiciones de soldeo en todos los cupones de prueba y cuando se suelden tubos en posición fija se marcará la posición de soldeo de las doce en punto.

La persona y organismo examinador puede parar la prueba si las condiciones de soldeo no son correctas o si parece que el soldador no tiene la experiencia suficiente para cumplir con los requisitos, por ejemplo si se producen reparaciones excesivas y/o sistemáticas.

32.6.2. Formas, dimensiones y número de los cupones de prueba

La forma y dimensión de los cupones de prueba requeridos se indican en las figuras 32.1 a 32.4.

Para los tubos se requiere una longitud mínima de examen de 150 mm. Sin embargo, si la circunferencia de los tubos es menor que 150 mm, se necesitan cupones de prueba adicionales hasta un máximo de tres.

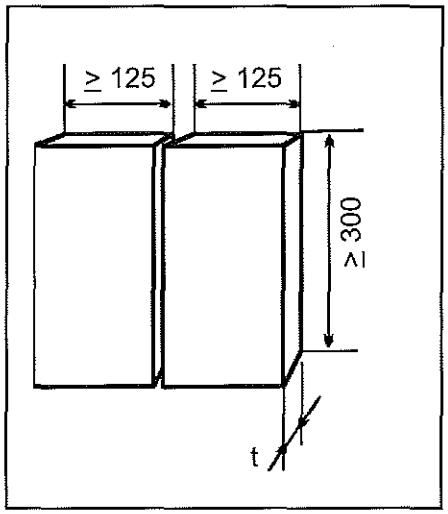


FIGURA 32.1: DIMENSIONES DEL CUPÓN DE PRUEBA PARA EL SOLDEO DE CHAPAS A TOPE (DIMENSIONES EN MILÍMETROS)

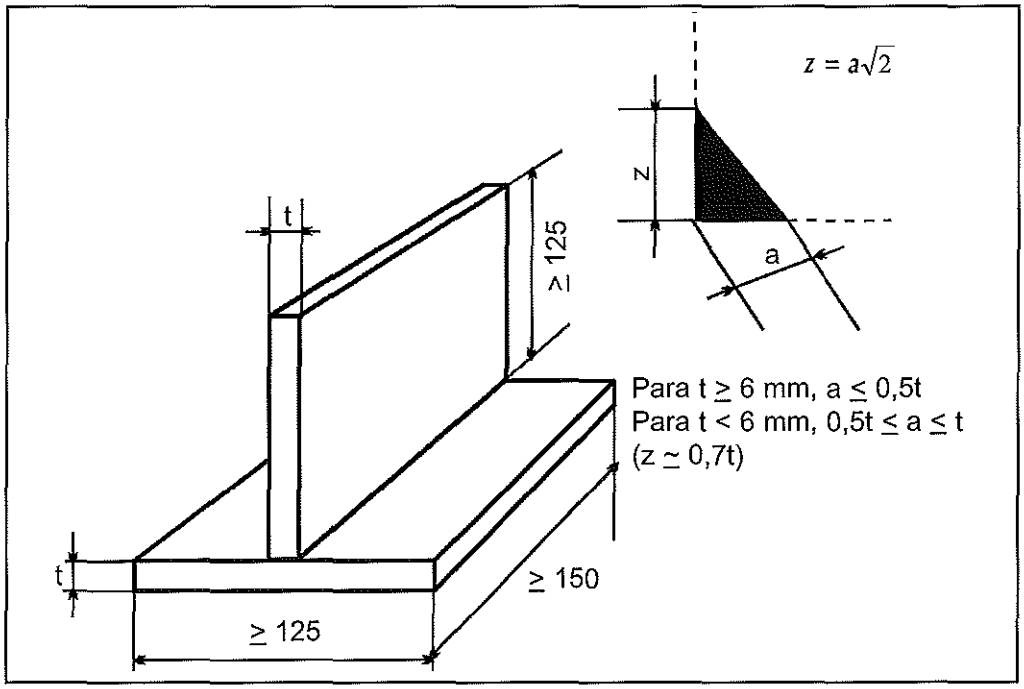


FIGURA 32.2: DIMENSIONES DEL CUPÓN DE PRUEBA PARA EL SOLDEO DE CHAPAS EN ÁNGULO (DIMENSIONES EN MILÍMETROS)

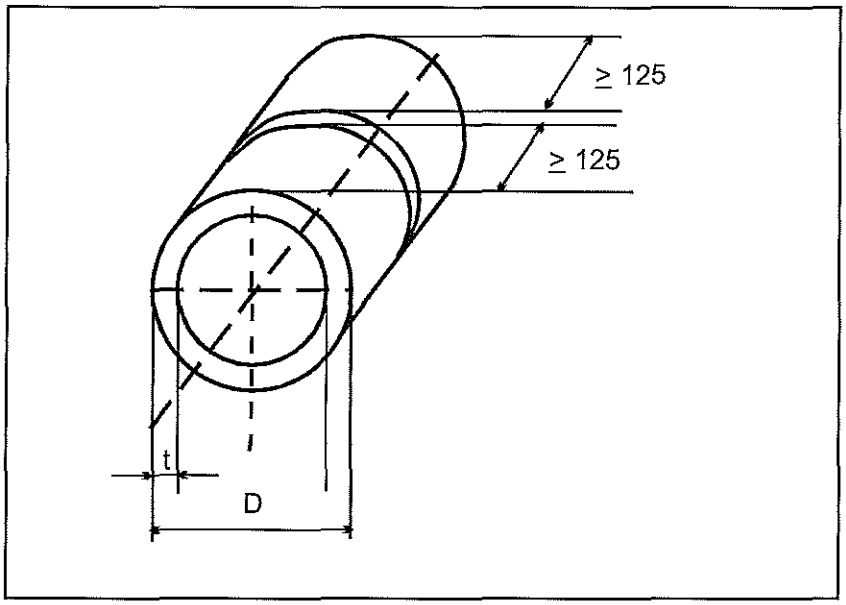


FIGURA 32.3: DIMENSIONES DEL CUPÓN DE PRUEBA PARA EL SOLDEO DE TUBOS A TOPE (DIMENSIONES EN MILÍMETROS)

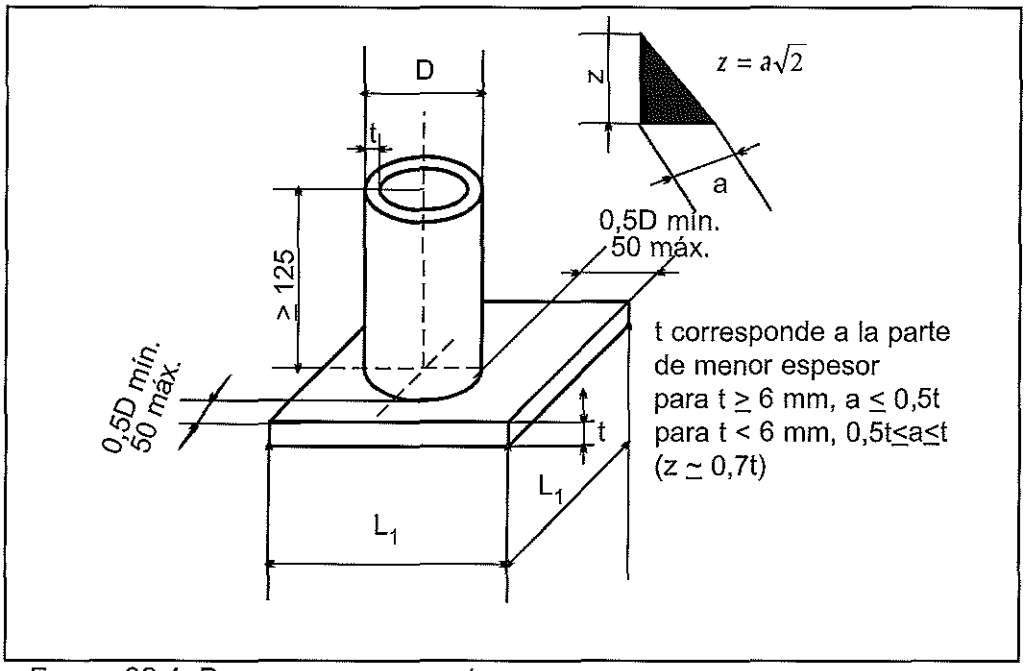


FIGURA 32.4: DIMENSIONES DEL CUPÓN DE PRUEBA PARA EL SOLDEO DE TUBOS EN ÁNGULO (DIMENSIONES EN MILÍMETROS)

32.6.3. Condiciones de soldeo

La prueba de cualificación de los soldadores se realizará siguiente una pWPS o WPS preparada de acuerdo con UNE-EN ISO 15609-1 o UNE-EN ISO 15609-2.

Son de aplicación las siguientes condiciones de soldeo :

- el tiempo de soldeo del cupón de prueba se corresponderá con el tiempo de trabajo bajo condiciones normales de producción.
- el cupón de prueba contendrá al menos una parada y un reinicio en la pasada de raíz y en la pasada de acabado que estarán identificadas en la longitud a examinar
- se puede omitir cualquier tratamiento térmico requerido en la pWPS o WPS excepto cuando se requiera ensayo de doblado,
- identificación del cupón de prueba
- se permite que el soldador retire pequeñas imperfecciones mediante esmerilado, excepto en las superficies después de determinar de soldar. Se deberá obtener la autorización de la persona y organismo examinador.

32.6.4. Métodos de ensayo

Los aplicables se indican en la tabla 32.12. El orden el que se efectúan es: primero el visual, a continuación los no destructivos, y finalmente, los destructivos.

Cuando se lleve a cabo el ensayo radiográfico de soldaduras a tope realizadas por los procesos de soldeo 131,135,136 (solo alambre con relleno metálico) y 311 (véase también tabla 32.12, nota b), se complementará bien con dos ensayos de doblado (uno de cara y otro de raíz o dos laterales) o con dos ensayos de rotura (uno de cara y otro de raíz) adicionales.

32.6.5. Cupón de prueba y probeta de ensayo

Se obtendrán de los cupones de prueba y se ensayarán de acuerdo con la norma que sea aplicable. Las imperfecciones que aparezcan se evaluarán de acuerdo con las normas UNE EN ISO 5817, aplicándose el nivel B (elevado) a todas las imperfecciones, excepto a las de exceso de sobreespesor, exceso de convexidad, exceso de garganta y exceso de penetración a las que se aplicará el nivel C (intermedio). El soldador queda cualificado si las imperfecciones del cupón de

prueba están dentro de los límites aceptados por los niveles B y C, antes indicados de UNE EN ISO 5817.

Método de ensayo	Soldadura a tope (chapa o tubo)	Soldadura en ángulo y ramificaciones
Ensayo visual según EN 970	obligatorio	obligatorio
Ensayo radiográfico según EN 1435	obligatorio [abd]	no obligatorio
Ensayo de doblado según EN 910	obligatorio [abf]	no aplicable
Ensayo de rotura según EN 1320	obligatorio [abf]	obligatorio [ce]

[a] Se realizará ensayo radiográfico o de doblado o de rotura.
[b] Si se realiza ensayo radiográfico, son obligatorios ensayos adicionales de doblado o de rotura para los procesos de soldeo 131, 135, 136 (solo alambres con relleno metálico) y 311(véase 32.6.4).
[c] Los ensayos de rotura se pueden sustituir por un examen macroscópico según EN 1321 en dos secciones como mínimo.
[d] El ensayo radiográfico se puede sustituir, solo para aceros ferríticos, por un examen mediante ultrasonidos según EN 1714 para espesores $\geq$ 8 mm.
[e] Los ensayos de rotura en tubos se pueden sustituir por ensayo radiográfico.
[f] Para tubos con diámetro exterior D < 25 mm, los ensayos de doblado o de rotura se pueden sustituir por un ensayo de tracción con entalla del cupón de prueba completo.

TABLA 32.12: MÉTODOS DE ENSAYO

32.7. Periodo de validez

32.7.1. Cualificación inicial

La validez de la cualificación del soldador empieza en la fecha en que soldó el (los) cupón (es) de prueba, siempre que los ensayos requeridos se hayan llevado a cabo y los resultados obtenidos sean aceptables.

32.7.2. Confirmación de la validez

El certificado de cualificación del soldador que se emita tiene validez durante un periodo de dos años, siempre que el coordinador de soldeo, o la persona responsable de la empresa, pueda confirmar cada seis meses que el soldador ha estado trabajando en las condiciones del rango de cualificación inicial.

32.7.3. Renovación de la cualificación

El certificado de cualificación del soldador de acuerdo con esta norma se puede renovar cada dos años por una persona u organismo examinador.

Para la renovación se debe cumplir con el apartado anterior y también se tienen que confirmar las siguientes condiciones :

A. todos los registros y evidencias que soportan la renovación son trazables con el soldador e identifican el(las) WPS(s) utilizada(s) en producción.

B. Las evidencias utilizadas para soportar la prolongación serán de naturaleza volumétrica (ensayo radiográfico o por ultrasonidos), o para ensayos destructivos (rotura o doblado), sobre dos soldaduras durante los seis meses anteriores. Las evidencias relacionadas con la prolongación se tienen que conservar dos años como mínimo.

C. La soldaduras deben satisfacer los niveles de aceptación de imperfecciones especificados.

D. Los resultados de los ensayos mencionados en el anterior apartado b demostrarán que el soldador trabaja en las condiciones de prueba originales, excepto espesor y diámetro exterior del tubo.

32.8. Certificado

Se verificará que el soldador ha superado con éxito la prueba de cualificación. Se registrarán en el certificado todas las variables esenciales. Si falla cualquiera de los ensayos requeridos al cupón de prueba, no se emitirá certificado.

Se recomienda, si se considera necesario, emitir el certificado de cualificación del soldador en al menos uno de los idiomas Inglés, Francés o Alemán en combinación con cualquier otro idioma.

Tanto la prueba práctica como la de evaluación de conocimientos se calificarán como "Aceptable" o "No ensayado".

Cada cambio de las variables esenciales de la prueba de cualificación fuera de los rangos permitidos requiere una nueva prueba y un nuevo certificado de cualificación del soldador.

Capítulo 33

Sistema Internacional Armonizado para Enseñanza y Formación en la Tecnología del Soldeo

INDICE

33.1. Introducción 616

33.2. El sistema armonizado y la normalización europea 616

33.3. Estructura general del sistema armonizado 618

33.1. Introducción

La Enseñanza y la Formación son las únicas vías para facilitar el conocimiento y la destreza necesarios para el desarrollo de actividades profesionales. Por añadidura, la Enseñanza y la Formación son los medios más eficaces para garantizar una alta calidad de los productos industriales. Cuanto mayores sean los conocimientos de todas las personas de una empresa involucradas en el proceso productivo, más fácil será el establecimiento de un Sistema de Aseguramiento de la Calidad. La armonización en Enseñanza y Formación juega, por lo tanto, un papel decisivo en la Europa del futuro.

En el campo de la tecnología del soldeo, el Comité de Enseñanza y Formación de la Federación Europea de Soldadura, EWF, inició en 1981 el análisis de la enseñanza teórica y formación práctica existente en algunos de los países europeos. En 1987 dicho análisis se extendió a todos los países de la Unión Europea, UE, y a los del Area de Libre Cambio, EFTA, los cuales, a través de sus organizaciones más relacionadas con las industrias utilizadoras de la tecnología del soldeo, tienen representación con pleno derecho en la mencionada Federación Europea de Soldadura, EWF.

El siguiente paso fue armonizar la Enseñanza y Formación mediante la elaboración de unas "Directrices" comunes que fuesen aceptadas por todos los países miembro de la EWF, sobre la base de la enseñanza existente en cada país de la UE y EFTA, de forma que cada país pudiese comenzar de inmediato con el nuevo Sistema Educativo y que pudiese recalificar a todas aquellas personas que tuviesen los conocimientos equivalentes a los que se pretendía con el Sistema Armonizado. La primera de las directrices aprobada, con la filosofía indicada, fue la de Formación de Ingenieros Europeos de Soldadura, lo cual aconteció en 1989.

El sistema de la EWF se reconoce dentro y fuera de Europa, al haber sido adoptado por países no Europeos mediante un acuerdo firmado entre la EWF y el IIS, Instituto Internacional de Soldadura, para el desarrollo de un esquema internacional basado en las Directrices y Procedimientos de la EWF. En la actualidad, el IIS ha adoptado las Directrices correspondientes al Ingeniero, Técnico, Especialista, Encargado, Personal de Inspección Internacional de Soldadura y Soldador, así como las Reglas para la implantación de las Directrices.

33.2. El Sistema Armonizado y la Normalización Europea

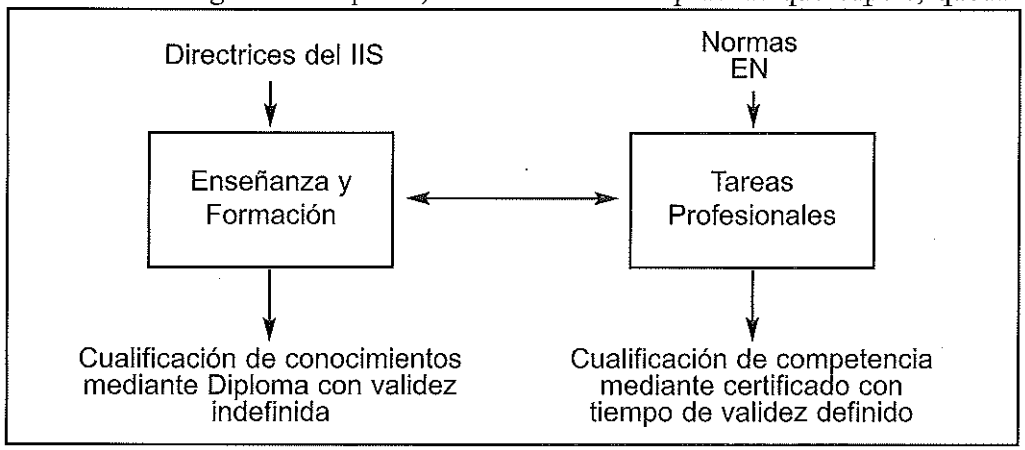
Tanto las personas que participan en los Grupos del IIS, como los propios Comités por medio de sus Presidentes, están en directo y continuo contacto con el

Comité Técnico 121 "Soldadura" del Comité Europeo de Normalización, CEN. Los beneficios de estos contactos son dobles: por un lado se conocen, mucho antes de que se publiquen, los requisitos de las futuras normas europeas y pueden tenerse en cuenta en los diferentes cursos para su conocimiento por los asistentes a los mismos; por otro lado, se pueden orientar los cursos para adaptarse a determinados niveles de competencia que las normas establecen para el personal relacionado con las construcciones soldadas.

Las normas europeas, como cualquier otra norma, **establecen niveles mínimos de competencia para las personas que tengan que desarrollar actividades profesionales con influencia directa en la calidad final del producto fabricado.** Ello significa, en el caso de la tecnología del soldeo, no sólo conocimientos de esta tecnología, sino también conocimientos específicos de las tareas a desempeñar y experiencia en las mismas.

Las directrices de enseñanza y formación del IIS lo que establecen son enseñanzas en la tecnología del soldeo a diferentes niveles, con la intención de facilitar la cumplimentación de los requisitos de formación establecidos en las normas a las personas que vayan a desempeñar determinadas "Tareas Profesionales", las cuales son objeto de ser reguladas por las propias normas.

Como ejemplo de lo anterior basta con considerar la serie de normas europeas UNE-EN 287 para cualificación de Soldadores. Las pruebas que la norma establece conducen a la certificación de una determinada competencia que dependerá de las condiciones en que dicha prueba sea efectuada, tales como: proceso de soldeo y calidad de los materiales utilizados, dimensiones y posición de soldeo de los cupones de pruebas, etc... Las directrices de la IIS para Formación de Soldadores contemplan tanto el entrenamiento en una amplia serie de pruebas prácticas, como la formación teórica necesaria para la comprensión de los factores que determinan la correcta ejecución de las uniones soldadas. En otras palabras, el Soldador Internacional según la IIS podrá, en función de las pruebas que supere, quedar


Directrices del IIS
Normas EN
Enseñanza y Formación
Tareas Profesionales
Cualificación de conocimientos mediante Diploma con validez indefinida
Cualificación de competencia mediante certificado con tiempo de validez definido

cualificado para diferentes tareas profesionales según la norma UNE-EN 287

Resumiendo, puede decirse que las Escuelas y Centros de Formación que desarrollan los programas educativos de las directrices de la IIS, formarán personal con perfiles de conocimientos y/o destreza adecuados para el desarrollo de las Tareas Profesionales en las industrias que utilizan la tecnología del soldeo en sus procesos productivos. El siguiente gráfico intenta contemplar lo anterior.

33.3. Estructura General del Sistema Armonizado

Tras el análisis de los niveles de educación y formación existentes en los países de la UE y EFTA, se llegó a la conclusión de definir cinco niveles básicos de conocimientos y, con el fin de posibilitar los conocimientos específicos en diferentes materias, tantas otras áreas como fuesen necesarias en los diferentes sectores industriales. En la tabla 33.1 se representan los cinco niveles de conocimientos básicos y diferentes áreas de conocimientos específicos.

Las directrices conducentes a la obtención del Diploma "Soldador Internacional" fueron editadas para cada proceso de soldeo y material o grupo de materiales. Los cursos estaban estructurados en módulos conducentes a las cualificaciones de:

- Soldador Internacional en ángulo.
- Soldador Internacional de chapa.
- Soldador Internacional de tubería.

Lo anterior puede verse en la tabla 33.2, donde también se compara la formación de los Soldadores con la de los Encargados de Soldadura, abarcando esta a la de los Soldadores en cuanto a mayor experiencia práctica con diferentes materiales y procesos de soldeo. El sistema armonizado en Europa para la educación y formación en la tecnología del soldeo, esta siendo asumido, poco a poco, a nivel mundial por medio del Instituto Internacional de Soldadura, IIS, como ha ocurrido con la formación de soldadores con la publicación de la correspondiente directriz internacional que ha reemplazado a la europea. En la tabla 33.3 se muestra la estructura modular de dicha directriz internacional la cual contempla los procesos oxigás, electrodo revestido, MIG/MAG y TIG, así como otros materiales diferentes del acero al carbono. En la tabla 33.4 se indican las pruebas a superar a la terminación de los módulos de formación para soldadores con electrodos revestidos, y la duración estimada de la formación práctica. Para los procesos de soldeo TIG, MIG/MAG y Oxigás se han definido tablas similares a la 33.4. La estructura general de la formación de soldadores se resume en la tabla 33.5. En la tabla 33.6 se indica el itinerario de formación ocupacional que puede seguir una persona sin cualificación alguna, hasta conseguir el diploma de Especialista Internacional de Soldadura.

NIVELES DE CONOCIMIENTOS BÁSICOS	ÁREAS DE CONOCIMIENTOS ESPECÍFICOS
Ingeniero Internacional de Soldadura (IWE)	Inspector Internacional de Soldadura
Técnico Internacional de Soldadura (IWT)	Especialista Europeo en Proyección Térmica
Especialista Internacional de Soldadura (IWS)	Técnico Europeo de Unión por Adhesivos
Encargado Internacional de Soldadura (IWP)	Técnico Europeo en Soldeo y Corte por Láser
Soldador Internacional (IW)	Técnico Europeo en Soldeo de Plásticos

TABLA 33.1: ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA EUROPEO/INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA Y FORMACIÓN EN LA TECNOLOGÍA DEL SOLDEO

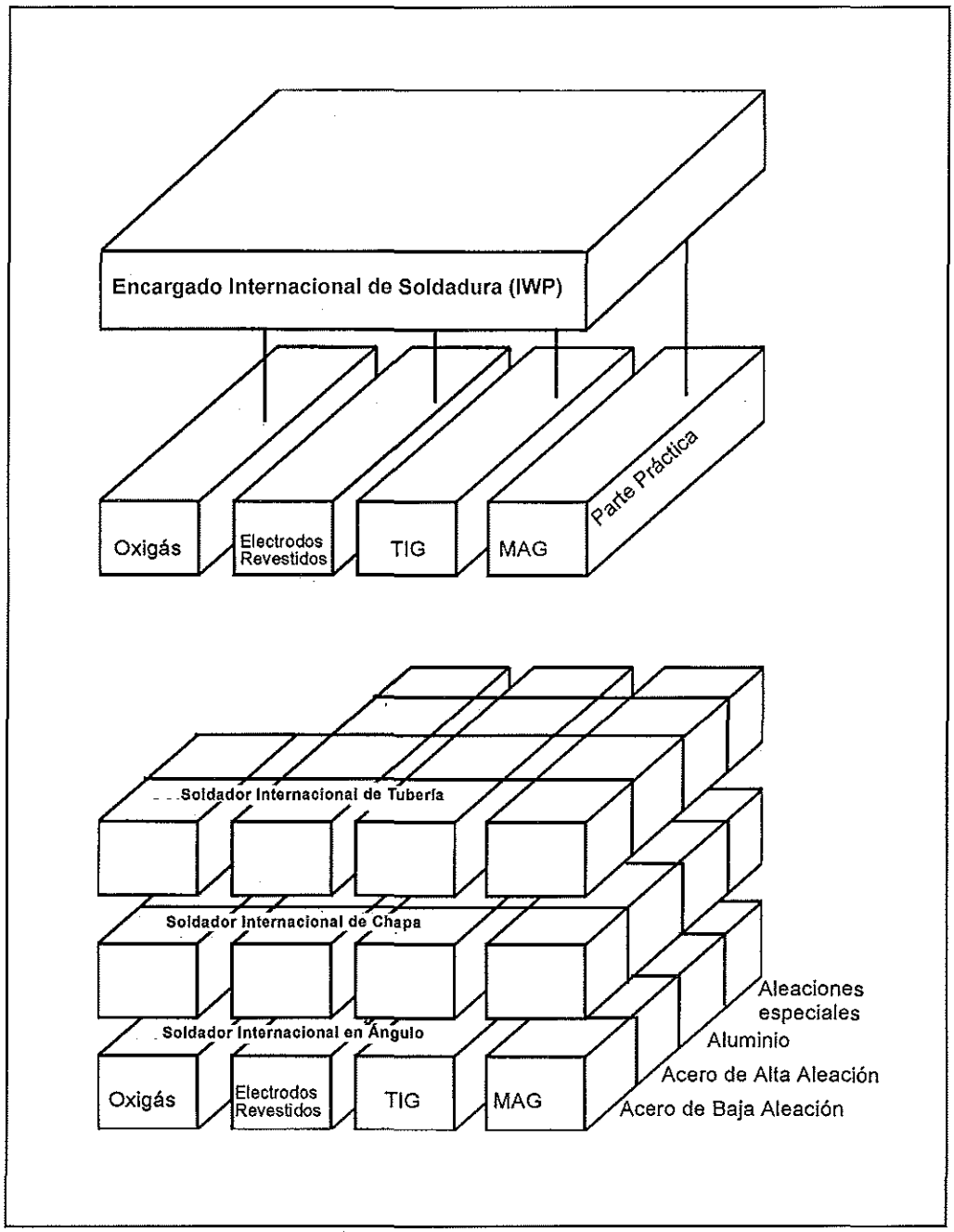
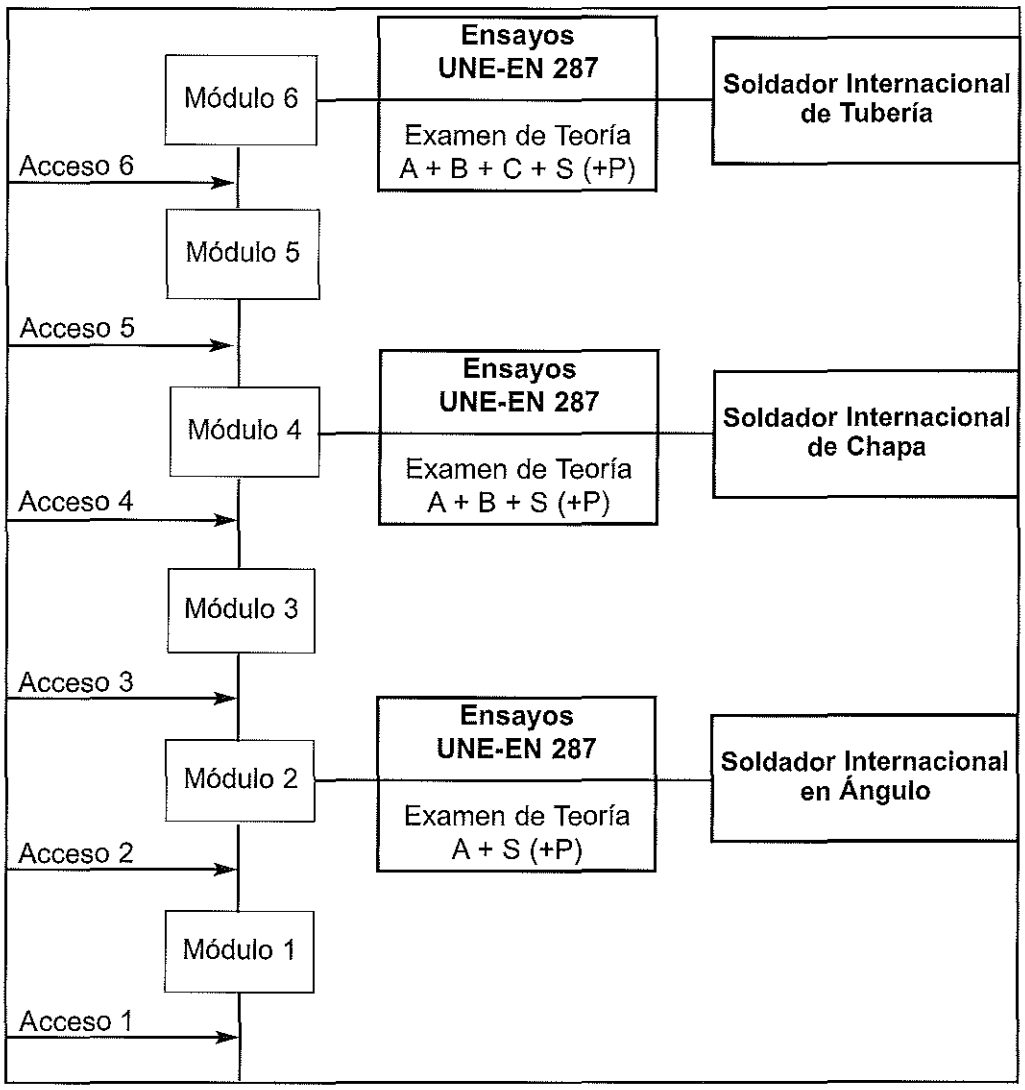


TABLA 33.2: ESTRUCTURA GENERAL DE LOS CURSOS PARA LA ENSEÑANZA Y FORMACIÓN DE LOS ENCARGADOS DE SOLDADURA Y DE LOS SOLDADORES



Accesos:

Acceso 1: Sin requisitos

Acceso 2: Se deberá demostrar el nivel de habilidad requerido para superar las pruebas prácticas indicadas en el Módulo 1.

Acceso 3: Se deberá demostrar el nivel de habilidad requerido para superar las pruebas prácticas y el examen teórico correspondiente al Módulo 2.

Acceso 4: Se deberá demostrar el nivel de habilidad requerido para superar las pruebas prácticas y el examen teórico correspondiente al Módulo 2 y las pruebas prácticas indicadas en el módulo 3.

Acceso 5: Se deberá demostrar el nivel de habilidad requerido para superar las pruebas prácticas y los exámenes teóricos correspondientes a los Módulos 2 y 4.

Acceso 6: Se deberá demostrar el nivel de habilidad requerido para superar las pruebas prácticas y los exámenes teóricos correspondientes a los Módulo 2 y 4 y las pruebas prácticas indicadas en el Módulo 5.

Leyenda:

A: Módulo de teoría sobre Tecnología del Soldeo para el nivel de Soldador en Ángulo

N° de horas estimadas: 20

B: Módulo de teoría, adicional al Módulo A, para el nivel de Soldador en Chapa

N° de horas estimadas: 18

C: Módulo de teoría, adicional a los Módulos A y B, para el nivel de Soldador en Tubo

N° de horas estimadas: 7

S: Módulos de teoría específicos para cada proceso de soldeo

N° de horas estimadas para oxigás (311): 5
N° de horas estimadas para electrodo revestido (111): 5
N° de horas estimadas para MIG/MAG /135/136): 5
N° de horas estimadas para TIG (141): 5

P: Módulos de teoría específicos:

N° de horas estimadas para acero inoxidable: 8
N° de horas estimadas para aleaciones de aluminio: 8

TABLA 33.3: ESTRUCTURA DE LOS CURSOS DE FORMACIÓN PARA SOLDADOR INTERNACIONAL

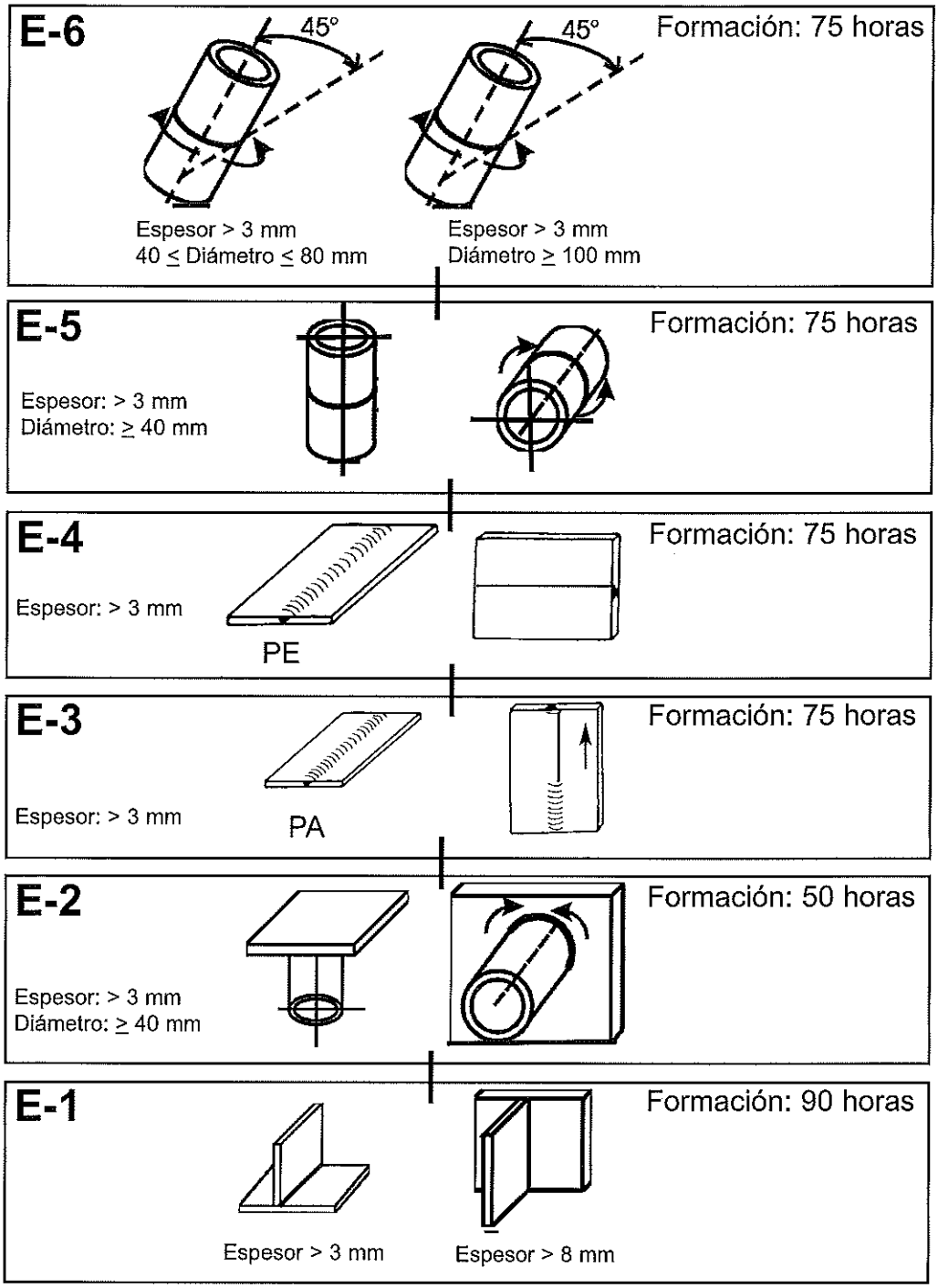


TABLA 33.4: PRUEBAS A SUPERAR A LA TERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE FORMACIÓN DE SOLDADOR INTERNACIONAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS Y TIEMPO DE FORMACIÓN PRÁCTICA ESTIMADO

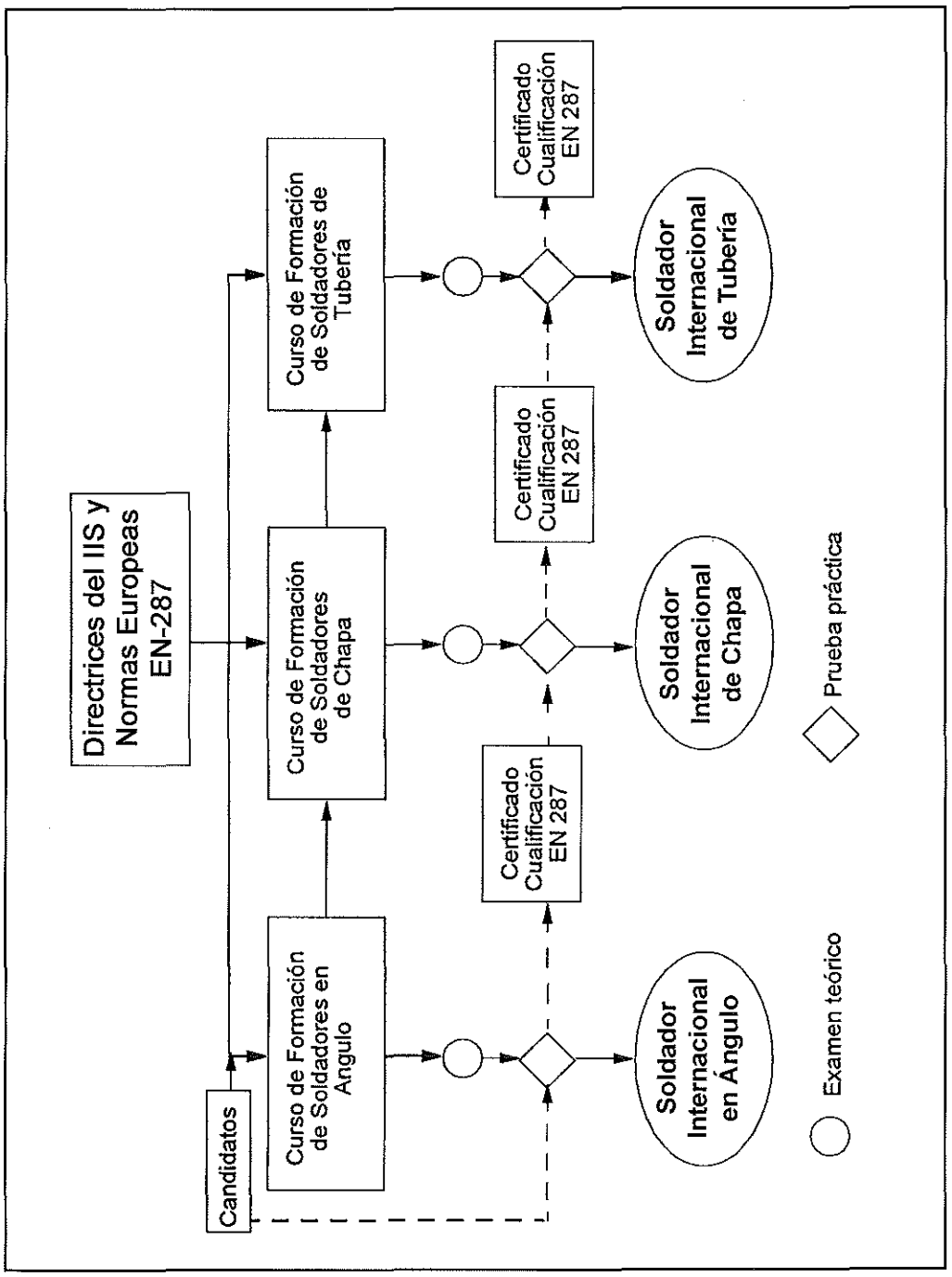

Directrices del IIS y Normas Europeas EN-287
Candidatos
Curso de Formación de Soldadores en Ángulo
Curso de Formación de Soldadores de Chapa
Curso de Formación de Soldadores de Tubería
Certificado Cualificación EN 287
Certificado Cualificación EN 287
Certificado Cualificación EN 287
Soldador Internacional en Ángulo
Soldador Internacional de Chapa
Soldador Internacional de Tubería
Examen teórico
Prueba práctica

TABLA 33.5: ESTRUCTURA GENERAL DE LOS CURSOS DE FORMACIÓN DE SOLDADORES INTERNACIONALES

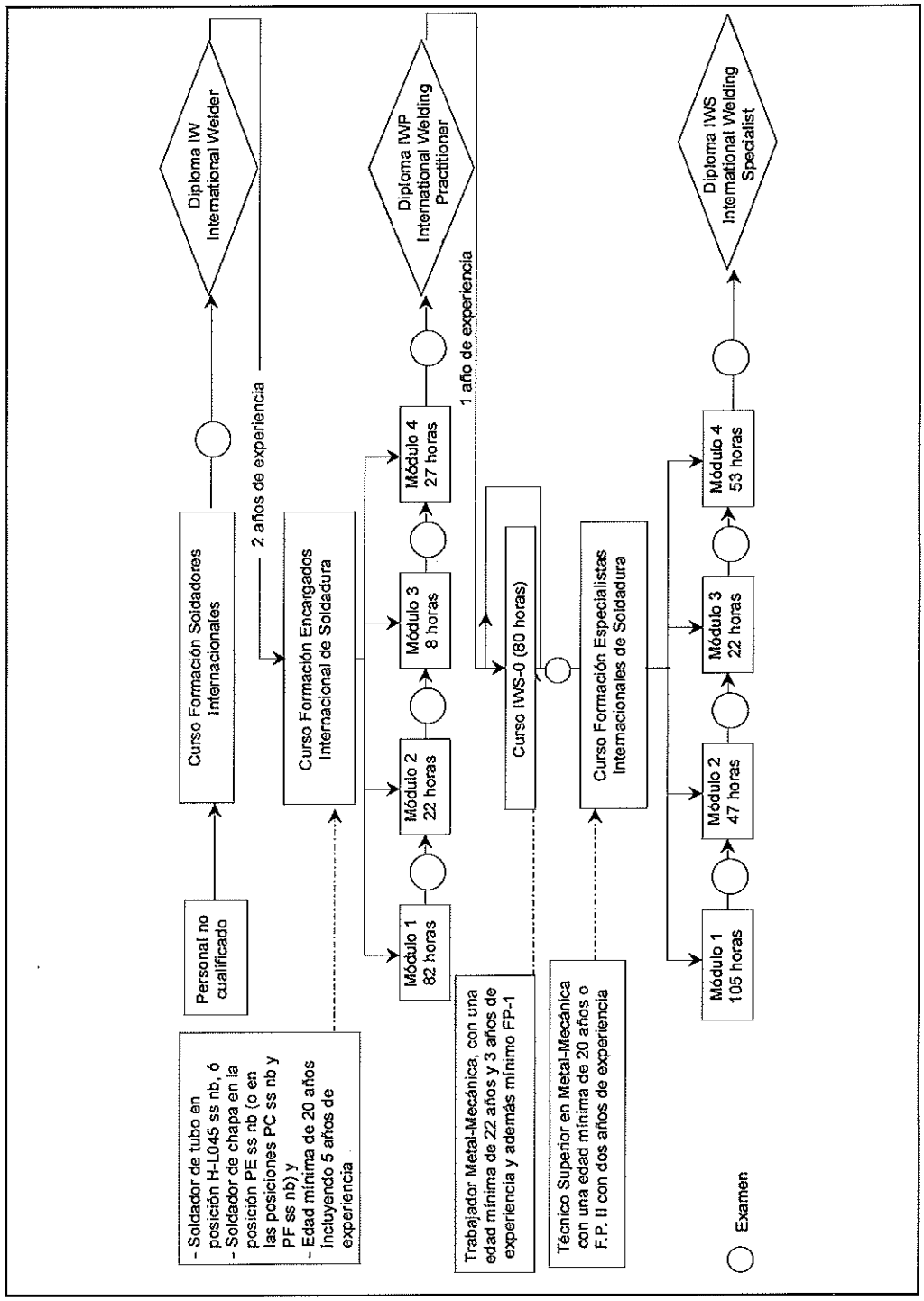

- Soldador de tubo en posición H-L045 ss nb, ó
- Soldador de chapa en la posición PE ss nb (o en las posiciones PC ss nb y PF ss nb) y
- Edad mínima de 20 años incluyendo 5 años de experiencia
Personal no cualificado
Curso Formación Soldadores Internacionales
Diploma IW International Welder
2 años de experiencia
Curso Formación Encargados Internacional de Soldadura
Trabajador Metal-Mecánica, con una edad mínima de 22 años y 3 años de experiencia y además mínimo FP-1
Módulo 1 82 horas
Módulo 2 22 horas
Módulo 3 8 horas
Módulo 4 27 horas
Diploma IWP International Welding Practitioner
1 año de experiencia
Curso IWS-0 (80 horas)
Técnico Superior en Metal-Mecánica con una edad mínima de 20 años o F.P. II con dos años de experiencia
Curso Formación Especialistas Internacionales de Soldadura
Módulo 1 105 horas
Módulo 2 47 horas
Módulo 3 22 horas
Módulo 4 53 horas
Diploma IWS International Welding Specialist
Examen

TABLA 33.6: ITINERARIO DE FORMACIÓN OCUPACIONAL EN LA TECNOLOGÍA DEL SOLDEO ESTABLECIDO POR EL INSTITUTO INTERNACIONAL DE SOLDADURA

ANEXO A

SÍMBOLOS Y SIGLAS

Símbolos Químicos

En la tabla A1 se indican los nombres y símbolos de los elementos químicos más utilizados. Se da también otros nombres con los que se conocen dos de los elementos que se han listado. El volframio también se conoce como tungsteno y, sin embargo, el símbolo químico en ambos casos es el mismo. El niobio cuyo símbolo en Nb, también se conoce como culombio cuyo símbolo es Cb.

Elemento	Símbolo químico	Elemento	Símbolo químico	Otros nombres
Aluminio	Al	Niobio	Nb	Culombio (Cb)
Argón	Ar	Oro	Au	
Azufre	S	Oxígeno	O	
Cadmio	Cd	Plata	Ag	
Carbono	C	Plomo	Pb	
Cerio	Ce	Potasio	K	
Cloro	Cl	Selenio	Se	
Cobalto	Co	Silicio	Si	
Cobre	Cu	Sodio	Na	
Cromo	Cr	Tántalo	Ta	
Estaño	Sn	Teluro	Te	
Fósforo	P	Titanio	Ti	
Helio	He	Torio	Th	
Hidrógeno	H	Vanadio	V	
Hierro	Fe	Volframio	W	
Magnesio	Mg	Cinc	Zn	Tungsteno
Manganeso	Mn	Zirconio	Zr	

TABLA A1: SÍMBOLOS QUÍMICOS DE LOS ELEMENTOS MÁS UTILIZADOS

Organismos, Documentos y Sistemas

En las tablas A2, A3 y A4 se indican las siglas que han sido empleadas y su significado.

Organismos	Nombres	Traducción
AA	Aluminum Association	Asociación del Aluminio
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación	
AISI	American Iron and Steel Institute	Instituto Americano del Hierro y del Acero
ANSI	American National Standards Institute	Instituto de Normalización Nacional Americano
ASM	American Society for Metals	Sociedad Americana para los Metales
ASME	American Society of Mechanical Engineers	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASTM	American Society for Testing and Materials	Asociación Americana para Ensayos y Materiales
AWS	American Welding Society	Sociedad Americana de Soldadura
CEN	Comité Européen de Normalisation	Comité Europeo de Normalización
CESOL	Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión	
DVS	Deutscher Verband für Schweisstechnik	Sociedad Alemana de Soldadura
EFTA	European Free Trade Association	Asociación Europea de Libre Cambio
ENSIDESA	Empresa Nacional Siderúrgica	
EWF	European Welding Federation	Federación Europea de Soldadura

TABLA A2: SIGLAS DE ORGANISMOS NACIONALES E INTERNACIONALES

Organismos	Nombres	Traducción
ISO	International Organization for Standardization	Organización Internacional de Normalización
SAE	Society of Automotive Engineers	Sociedad de Ingenieros de la Automoción
TWI	The Welding Institute	Instituto Británico de Soldadura
UE	Unión Europea	
UNESID	Unión de Empresas y Entidades Siderúrgicas	

TABLA A2 (CONTINUACIÓN): SIGLAS DE ORGANISMOS NACIONALES E INTERNACIONALES

Documentos	Comentario
ASME IX	Parte IX del Código ASME para aparatos a presión que trata la cualificación de soldadores y de los procedimientos de soldeo.
EN	Normas Europeas aprobadas por el CEN y adoptadas como normas nacionales por los países de la UE y de la EFTA.
prEN	Proyecto de Norma Europea. Es un borrador que se convertirá en Norma Europea cuando sea aprobado por el CEN.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
UNE	Una Norma Española Las Normas UNE son documentos establecidos por consenso y aprobados por AENOR que proporcionan, para el empleo común y continuado, reglas, partes o características para determinadas actividades o para sus resultados y dirigidos a obtener un nivel óptimo de orden en un contexto dado.
UNE-EN	Norma UNE que adopta un documento europeo manteniendo el mismo número de serie que el documento EN.

TABLA A3: SIGLAS DE DOCUMENTOS Y SU SIGNIFICADO

Documentos	Comentario
UNS	Sistema Unificado de Numeración. Es un sistema de numeración para identificar metales, aleaciones y metales de aportación para el soldeo. UNS se produce en conjunto por SAE y ASTM.
WPQR/PQR	Documento que da validez al WPS y que recoge los resultados de las pruebas y ensayos realizados sobre un cupón de prueba soldado según el WPS en cuestión. El WPQR/PQR recoge valores de las variables de soldeo utilizados en la prueba, no recoge intervalos o rangos de éstas.

TABLA A3 (CONTINUACIÓN): SIGLAS DE DOCUMENTOS Y SU SIGNIFICADO

Proceso	Designación	
	EN	AWS
Soldeo metálico por arco con electrodo revestido (soldeo manual)	111	SMAW
Soldeo por arco con alambre tubular (sin protección gaseosa)	114	FCAW
Soldeo por arco sumergido	121	SAW
Soldeo por arco con gas inerte; soldeo MIG	131	GMAW
Soldeo por arco con gas activo; soldeo MAG	135	GMAW
Soldeo por arco con alambre tubular (con protección de gas activo)	136	FCAW
Soldeo por arco con alambre tubular (con protección de gas inerte)	137	FCAW
Soldeo por arco con electrodo de volframio; soldeo TIG	141	GTAW
Soldeo MIG por arco llama	151	PAW
Soldeo por puntos; soldeo por resistencia por puntos	21	RSW

TABLA A4: SIGLAS DE LOS PROCESOS DE SOLDEO MÁS UTILIZADOS

Proceso	Designación	
	EN	AWS
Soldeo por costura; soldeo de costuras por resistencia	22	RSEW
Soldeo oxiacetilénico	311	OAW
Soldeo fuerte por llama; soldeo fuerte con soplete	912	TB
Soldeo blando por llama; soldeo blando con soplete	642	TS

TABLA A4 (CONTINUACIÓN): SIGLAS DE LOS PROCESOS DE SOLDEO MÁS UTILIZADOS

ANEXO B

UNIDADES

Unidades Principales y Derivadas más Comunes del Sistema Internacional (S.I.)

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	Kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente	Amperio	A
Área	Metro cuadrado	m^2
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	Kg/m^3
Energía	Julio	J
Diferencia de potencial o tensión	Voltio	V
Potencia	Vatio	W
Presión	Pascal	Pa
Resistencia eléctrica	Ohmio	Ω
Velocidad	Metro por segundo	m/s
Volumen	Metro cúbico	m^3

TABLA B1: ALGUNAS DE LAS UNIDADES PRINCIPALES Y DERIVADAS DEL S.I.

Prefijos

Prefijo	Símbolo	Valor	Multiplicar por
Mega	M	10^6	1000000
kilo	k	10^3	1000

TABLA B2: PREFIJOS MÁS UTILIZADOS

Prefijo	Símbolo	Valor	Multiplicar por
hecto	h	10^2	100
deca	da	10^1	10
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
mili	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000001

TABLA B2 (CONTINUACIÓN): PREFIJOS MÁS UTILIZADOS

A continuación (tabla B3) se va a indicar la equivalencia entre algunas de las unidades del sistema internacional (S.I.), las unidades inglesas y otras unidades que aunque no sean del S.I. son muy utilizadas.

Magnitud o propiedad	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Área	pulgada cuadrada	in^2	1 in^2 = 645 mm^2
Caudal	litros por minuto	L/min	L/min = 2,1 ft^3/h ($pies^3$/hora)
Energía	caloría	cal	1 cal = 4,18 J
	Julio	J	1J =0,24 cal
Longitud	pulgada	in ó "	1 in = 25,4 mm
Masa	Libra	Lb	1 lb = 0,45 Kg
Presión	bar	bar	1 bar = 0,1M Pa = 10^5 Pa 1 bar = 0,98 $Kg/cm^2 \simeq$ 1 Kg/cm^2
	atmósfera	atm	1 at = m = 1,013.10^5 Pa = 1,013 bar 1 at = m $\simeq$ 1 bar $\simeq$ 1 Kg/cm^2

TABLA B3: EQUIVALENCIA ENTRE DIFERENTES UNIDADES

Magnitud o propiedad	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Resistencia mecánica	Kilogramo por pulgada cuadrado	Ksi	1 Ksi = 6,9 Mpa 1 Ksi $\simeq$ 0,69 Kg/mm^2
	Megapascal	Mpa	1 M Pa = 0,15 Ksi 1 M Pa = 0,1 Kg/mm^2
	Kilogramo por milímetro cuadrado	Kg/mm^2	1 Kg/mm^2 $\simeq$ 10 MPa
Temperatura	Grados Centígrados	°C	°C = (°F - 32)/1,8
	Grados Fahrenheit	°F	°F = °C . 1,8 + 32
Velocidad	pulgadas por minuto	in/min	in/min = 0,42 mm/s
Volumen	Litro	L	L = 0,001 m^3 = 1 dm^3

TABLA B3 (CONTINUACIÓN): EQUIVALENCIA ENTRE DIFERENTES UNIDADES

Diámetro electrodo		Garganta de la soldadura	
in.	mm	in.	mm
0,030	0,8	1/8	3
0,035	0,9	5/32	4
0,040	1,0	3/16	5
0,045	1,1	1/4	6
1/16	1,6	5/16	8
5/64	2,0	3/8	10
3/32	2,4	7/16	11
1/8	3,2	1/2	13
5/32	4,0	5/8	16
3/16	4,8	3/4	19
1/4	6,4	1	25

TABLA B4: EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LOS DIÁMETROS DE LOS ELECTRODOS Y LAS GARGANTAS DE LAS SOLDADURAS EN ÁNGULO

Bibliografía

1. Libros

Aceros Especiales. José Apraiz Barreiro. 1964.

Curso de Operador de Plantas Químicas. Nivel 1. Módulo: Ciencias básicas. Física. Fondo de Formación. 1993.

Curso General de la Tecnología del Soldeo. Fondo de Formación-CESOL. Módulos 1 y 2. 1994.

Documentación del curso "Especialista Europeo de Soldadura". Módulos 1 y 2. CESOL. 1995.

El proceso siderúrgico. UNESID. 1987.

Fabricación de Hierro, Aceros y Fundiciones. José Apraiz Barreiro. 1964.

Gas Handbook. AGA. 1985.

Kaiser Aluminum Weldor's Training Manual. Inert gas process. 1988.

Los aceros inoxidables. Di Caprio. 1987.

MAG Welding. "Not a Sealed Book". Hans-Ulrich Pomanska. Linde Industrial Gases.

Manual de mantenimiento de instalaciones de calefacción y A.C.S. Campsa. 1988.

Manual del proceso siderúrgico. ENSIDESA.

Manual ilustrado de soldadura con electrodos recubiertos. A.E.S.A Factoría de Puerto Real.

Metal Handbook. Nineth Edition. Volume 6. Welding, Brazing and Soldering. ASM. 1983.

2. Normas UNE-EN

UNE-CEN/TR 14633:2004, Soldeo. Posiciones de trabajo. Comparación entre las designaciones habituales internacionales, europeas y americanas.

UNE-EN 287-1:2004, Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.

UNE-EN 287/A2 (2004):2006, Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.

UNE-EN 440:1995, Consumibles para el soldeo. Alambres y depósitos para el soldeo por arco con protección gaseosa de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

UNE-EN 756:2005, Consumibles para el soldeo. Alambres y combinaciones de alambres-fundentes para el soldeo por arco sumergido de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

UNE-EN 757:1997, Consumibles para el soldeo. Electrodos revestidos para el soldeo manual por arco de aceros de alta resistencia. Clasificación.

UNE-EN 758:1997, Consumibles para el soldeo. Alambres tubulares para el soldeo por arco con o sin gas de protección de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

UNE-EN 760:1996, Consumibles para soldeo. Fundentes para el soldeo por arco sumergido. Clasificación.

UNE-EN 1600:1998, Consumibles para el soldeo. Electrodos revestidos para el soldeo por arco manual de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación.

UNE-EN 1668:1998, Consumibles para el soldeo. Varillas, alambres de aportación y depósitos para el soldeo bajo atmósfera inerte con electrodo de volframio de aceros no aleados y aceros de grano fino. Clasificación.

UNE-EN ISO 2560:2006, Consumibles para el soldeo. Electrodos recubiertos para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

UNE-EN ISO 3580:2008, Consumibles para el soldeo. Electrodos revestidos para el soldeo manual por arco de aceros resistentes a la fluencia. Clasificación

UNE-EN ISO 4063:2000, Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia.

UNE-EN ISO 5817:2004, Uniones soldadas por arco de aceros. Guía sobre los niveles de calidad en función de las imperfecciones.

UNE-EN ISO 6520-1:1999, Soldeo y procesos afines. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos. Parte 1: Soldeo por fusión.

UNE-EN ISO 6848:2005, Electrodos de volframio para el soldeo por arco en atmósfera inerte con electrodo refractario, y para el soldeo y corte por plasma. Simbolización.

UNE-EN 10027-1 (1993):ERRATUM 2006, Sistemas de designación de aceros. Parte 1: Designación simbólica, símbolos principales.

UNE-EN 10027-2:1993, Sistemas de designación de aceros. Parte 2: Designación numérica.

UNE-EN 10042:2006, Soldeo. Uniones Soldadas por arco en aluminio y sus aleaciones. Niveles de calidad para las imperfecciones.

UNE-EN 12070:2000, Consumibles para el soldeo. Electrodos de alambre, alambres y varillas para el soldeo por arco de aceros resistentes a la termofluencia. Clasificación

UNE-EN ISO 14175:2008, Consumibles para el soldeo. Gases de protección para el soldeo por fusión y procesos afines.

UNE-EN ISO 14343:2007, Consumibles para el soldeo. Electrodos de alambre, alambres y varillas para el soldeo por arco de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación.

UNE-EN ISO 17633:2006, Consumibles para el soldeo. Alambres y varillas tubulares para el soldeo por arco con o sin gas de protección de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación.

UNE-EN ISO 17634:2006, Consumibles para el soldeo. Alambre tubulares para el soldeo por arco con protección gaseosa de aceros resistentes a la termofluencia. Clasificación.

UNE-EN 22553:1995, Uniones soldadas por fusión, soldeo fuerte y soldeo

blando. Representación simbólica en los planos.

UNE-EN ISO 3580:2008, Consumibles para el soldeo. Electrodos revestidos para el soldeo manual por arco de aceros resistentes a la fluencia

UNE 38300:1983: Aluminio y Aleciones de aluminio para forja. Generalidades.

3. Publicaciones AWS

Brazing Manual

Soldering Manual

Welding Handbook, Volumen 1 Novena Edición.

Welding Handbook, Volumen 2 Novena Edición.

Welding Handbook, Volumen 4 Octava Edición.

AWS A2.4SP-94, Símbolos Normalizados para Soldeo, Soldeo fuerte y Examen No Destructivo

AWS A3.0SP-96, Términos y Definiciones para el Soldeo Normalizados.

AWS A5.1-04: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.2-07: Specification for Carbon and Low Alloy Steel Rods for Oxyfuel Gas Welding.

AWS A5.3-99: Specification for Aluminum and Aluminium Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.4-06: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.5-06: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.6-08: Specification for Copper and Copper Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding

AWS A5.7-07: Specification for Copper and Copper Alloy Bare Welding Rods and Electrodes

AWS A5.8-04: Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding.

AWS A5.9-06: Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.10-99: Specification for Bare Aluminum and Aluminum Alloy Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.11-05: Specification for Nickel and Nickel-Alloy Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.12-98: Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.

AWS A5.14-05: Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.15-06: Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron.

AWS A5.16-07: Specification for Titanium and Titanium Alloy Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.17-07: Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding.

AWS A5.18-05: Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding.

AWS A5.20-05: Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding.

AWS A5.22-05: Specification for Stainless Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Stainless Steel Flux Cored Rods for Gas Tungsten Arc Welding.

AWS A5.23-07: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding.

AWS A5.28-05: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding.

AWS A5.29-05: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding

AWS A5.30-07: Specification for Consumable Inserts.

AWS B1.10-99, Guide for the Nondestructive Examination of Welds.

AWS B1.11-00, Guide for the Visual Examination of Welds.

AWS B2.1.001-90, Standard WPS for SMAW of Carbon Steel, 3/16 through 3/4 inch, in the As-welded Condition, With Backing.

AWS B2.1.002-90, Standard WPS for GTAW of Carbon Steel, 3/16 through 7/8 inch, in the As-welded Condition, With or Without Backing.

AWS B2.1.003-02, Standard WPS for GMAW of Galvanized Steel, 18 through 10 Gauge, in the As-welded Condition, With or Without Backing.

AWS B2.1.004-02, Standard WPS for GMAW of Carbon Steel, 18 through 10 Gauge, in the As-welded Condition, With or Without Backing.

AWS B2.1.007-02, Standard WPS for GTAW of Galvanized Steel, 18 through 10 Gauge, in the As-welded Condition, With or Without Backing.

AWS B2.1.008-02, Standard WPS for GTAW of Carbon Steel, 18 through 10 Gauge, in the As-welded Condition, With or Without Backing.

AWS B2.1-1-016-94, Standard WPS for SMAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, E7018, As-Welded Condition or PWHT Condition.

AWS B2.1-1-017-94, Standard WPS for SMAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, E6010, As-Welded Condition or PWHT Condition.

AWS B2.1-1-018-94, Standard WPS for Self-Shielded FCAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, E71T-8, As-Welded Condition.

AWS B2.1-1-019-94, Standard WPS for CO_2 Shielded FCAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, E70T-1 and E71T-1, As-Welded Condition.

AWS B2.1-1-020-94, Standard WPS for 75% Ar/25% CO_2 Shielded FCAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, E70T-1 and E71T-1, As-Welded Condition or PWHT Condition.

AWS B2.1-1-021-94, Standard WPS for GTAW Followed by SMAW of Carbon Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, ER70S-2 and E7018, As-Welded Condition or PWHT Condition.

AWS B2.1-8-023-94, Standard WPS for SMAW of Austenitic Stainless Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, As Welded Condition.

AWS B2.1-8-024-01, Standard WPS for GTAW of Austenitic Stainless Steel, 1/16 through 1-1/2 inch Thick, As Welded Condition, primarily plate and structural applications.

AWS B2.1-8-025-01, Standard WPS for GTAW followed by SMAW of Austenitic Stainless Steel, 1/8 through 1-1/2 inch Thick, As Welded Condition.

AWS B4.0-07, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

AWS C4.1-WC, Criteria for describing oxygen-cut surfaces

AWS C4.2-06, Recommended practices for Safe and Oxyfuel Gas Cutting torch Operation.

AWS C4.3-07, Recommended practices for safe and Oxyfuel gas Heating Torch Operation.

AWS C5.2-01, Recommended Practices for Plasma Arc Cutting

AWS C5.3-00, Recommended Practices for Air Carbon Arc Gouging and Cutting

AWS C5.5-03, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding

AWS C5.6-89, Recommended Practices for Gas Metal Arc Welding.

AWS C5.10-03, Recommended Practices for Shielding Gases for Welding and Plasma Arc Cutting.

AWS D10.4-86, Recommended Practices for Welding Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steel Piping and Tubing.

AWS D10.6-00, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding of Titanium Piping and Tubing.

AWS D10.7-00, Guide for gas sheilded arc welding of aluminum and aluminum alloy pipe.

AWS D10.8-96, Welding of Chromium-Molybdenum Steel piping and Tubing.

AWS D10.11-07, Recommended Practices for Root Pass Welding of Pipe Without Backing

AWS D10.12-00, Recommended Practices and Procedures for Welding Low Carbon Steel Pipe.

AWS Z49.1-05, Safety in Welding, and Cutting and Allied Processes.

4. Publicaciones DVS

Guide to Welding. Overhead transparencies and work sheets for vocational training.

Guidelines for welding courses.

5. Publicaciones TWI

Control of Distorsion in Welded Fabrications. Second Edition. 1982.

Health and Safety in Welding and Allied Processes. 1991.

Introdution to Welding Fluxes. 1981.

Joint Preparation for Fusion Welding of Steel. Fourth reprint June 1981.

Residual Stresses.1981.

Submerged-Arc Welding. 1978.

Weld Symbols on Drawings. 1982

Weldability of Steels. Fourth reprint. July 1980.

Welding Coated Steels. 1978.

Welding Creep Resisting Steels. 1976.